



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOGRAFIA**

VINICIUS FERREIRA DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E TECTÔNICA DA FOLHA RIO
MAMUABA 1:25.000**

**João Pessoa-PB
2014**

VINICIUS FERREIRA DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E TECTÔNICA DA FOLHA RIO
MAMUABA 1:25.000**

Monografia apresentada ao Departamento de Geociências do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, *Campus I*, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientador:

Prof. Dr. Eduardo Galliza do Amaral Marinho

**João Pessoa-PB
2014**

L732c Lima, Vinicius Ferreira de.
 Caracterização Geomorfológica e Tectônica da Folha
Rio Mamuaba 1:25.000 / Vinicius Ferreira de Lima.- João Pessoa,
2014.
 85f. : il.
 Orientador: Eduardo Galliza Amaral Marinho
 Monografia (Graduação) – UFPB/CCEN
 1.Geografia. 2.Rio Mamuaba-PB.
3.Geomorfologia. 4.Morfotectônica. 5.Morfometria – análise.
6.Neotectônica – análise.

UFPB/BC

CDU: 91(043.2)

VINICIUS FERREIRA DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA E TECTÔNICA DA FOLHA RIO
MAMUABA 1:25.000**

Monografia apresentada ao Departamento de Geociências do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal da Paraíba, *Campus I*, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Aprovada em: ____/____/____

Prof. Dr. Eduardo Galliza do Amaral Marinho
Universidade Federal da Paraíba (Orientador)

Prof. Dr.^a Lucimary Albuquerque da Silva
Universidade Federal da Paraíba

Mestre: Ivanildo Costa da Silva
Universidade Federal da Paraíba

**João Pessoa-PB
2014**

Dedico esse trabalho primeiramente a minha família, que sempre esteve ao meu lado, apoiando as minhas escolhas e a todas as pessoas que de forma direta ou indireta participaram das minhas vitórias e também para todos aqueles que, assim como eu, escolheram a ciência geográfica para amar.

AGRADECIMENTOS

A única certeza que tenho é que na vida não fazemos nada sozinhos, sempre precisamos da orientação apoio ou ajuda de alguém. Sendo assim, de coração, quero agradecer à todas as pessoas que fizeram parte da minha vida acadêmica e pessoas que contribuíram positivamente na minha formação enquanto cidadão, principalmente às que me ajudaram de alguma maneira na elaboração desse trabalho.

Agradeço primeiramente a toda minha família, em especial aos meus pais José Divaldo e Delma Maria, e aos irmãos Vanessa e José Vitor, que foram os maiores incentivadores para que eu sempre desse o meu melhor nos estudos e na vida, me dando muitas vezes apoio financeiro, tentando me ajudar de todas as formas que puderam. À minha Tia Josefa pelo abrigo de moradia, pois foi em sua casa que vivi boa parte da minha graduação. Agradeço a minha avó Almina e ao meu avô Jesus (*in memoriam*), pelas orações e cuidados. Aos meus tios Erika e Ivan, de quem tive a inspiração de ser Geógrafo, e que me apoiaram no fornecimento de materiais e conselhos no início do curso.

Agradeço aos bons professores, que deram o seu melhor para que pudéssemos apreender o máximo possível nas disciplinas ministradas, em especial aos (às) professores(as): Max Furrier, Christianne, Lucimary, Emília, Marcelo, Galliza, Magno, Bartolomeu, Aniéres, Marco, Maria Franco, Sinval e Zeca.

Quero apontar a significativa contribuição do povo brasileiro que de forma consciente ou inconsciente financiou minha pesquisa, por ter me dado à oportunidade de realizar meu curso em uma Universidade publica, gratuita e de qualidade possibilitando a realização do sonho de cursar a graduação que escolhi.

Desejo agradecer às pessoas que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho: ao meu Professor Dr. Max Furrier; ao meu Orientador Professor Dr. Eduardo Galliza do Amaral Marinho à minhas colegas Larissa, Thamires e Cristiane e aos meus colegas Alexandre, Ivanildo, Wesley e Diego que sanaram muitas das minhas dúvidas, estando sempre prontos pra me ajudar.

De forma muito especial quero agradecer a todos os meus amigos e amigas, agradecendo em destaque as pessoas que além de amigos se tornaram irmãos ao longo de nossa convivência, entre eles gostaria de destacar a fundamental importância em minha vida das seguintes pessoas: Larissa de Lavôr, Rodrigo Brito, Kayo Lima, Irailson Silva, Vitor Guedes, Ramon Andrade, Diego Monteiro e Derek Guedes. Quero agradecer pela ajuda na parte acadêmica, financeira e pessoal.

E por último, mas de certa forma mais importante ao Deus Vivo, Senhor, que com grande misericórdia, graça e amor, concedeu sabedoria a indivíduos pequenos como eu, permitindo, assim, a oportunidade de desvendar e compreender uma parcela das maravilhas de Sua criação por intermédio da ciência.

“Os filósofos até hoje limitaram-se a interpretar
o mundo de diversas maneiras, a questão
porém é transforma-lo.”
(Karl Marx)

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo apontar evidências de neotectônica na área compreendida pela carta topográfica Rio Mamuaba, escala 1:25.000, através da análise morfotectônica e morfométrica aplicada em seguimentos da rede de drenagem na área compreendida pela supracitada carta. A carta topográfica investigada está situada na borda oriental do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. A análise foi aplicada por meio da junção de informações qualitativas baseadas nos padrões e anomalias da rede de drenagem verificadas, e quantitativas, balizadas no índice morfométrico Relação Declividade-Extensão (RDE). Esse cálculo foi aplicado em cinco afluentes de grande expressividade e hierarquia fluvial, sendo que, quatro desses canais são afluentes da bacia do rio Mamuaba, e um canal é afluente da bacia do rio Gramame. O cálculo de RDE foi proposto a fim de verificar se a evolução da drenagem e do relevo da área de estudo ocorreu sob influência da tectônica recente. O diagnóstico morfotectônico foi apoiado na análise e interpretação de dados numéricos obtidos na carta topográfica e em seus produtos derivados (cartas temáticas hipsométrica e clinográfica e no modelo em 3D). Valores elevados, superiores a 10, encontrados a partir da aplicação do índice RDE apontam para fortes indícios de influência da tectônica recente na área. Além de questões qualitativas, também indicativas de ajustes estruturais como assimetria, padrões em treliça e radial da rede de drenagem.

Palavras-chave: Rio Mamuaba-PB; Rio Gramame-PB; Morfotectônica; Morfometria; Neotectônica.

ABSTRACT

The current study intends to point out neotectonic's evidences in the area covered of topographic map from Mamuaba river 1:25.000, through morphotectonic and morphometric analysis applied to segments of drainage network in the area covered by the map. The topographic map investigated is situated on the eastern edge of the state of Paraíba, Northeast Brazil. The analysis was applied through the junction of qualitative information based on patterns and anomalies of the drainage network analysis and quantitative morphometric index buoyed in Relation Declivity Extension (RDE). This calculation was applied in five affluents of great expressiveness and fluvial hierarchy, four of these channels are affluents of the Mamuaba's River Basin, and a channel is an affluent of the Gramame's river Basin. The RDE calculation was proposed in order to check if the evolution of drainage and relief of the study area occurred under the influence of recent tectonic. The Morphotectonics Diagnosis was supported on analysis and interpretations of numerical data obtained in the topographic map and derivatives (hypsometric and clinographics letters and 3D model). High values, above 10, found from the application of the RDE index, point to strong evidence of recent tectonic influence in the area, as well as qualitative questions also indicative of structural adjustments as asymmetry, truss patterns and radial drainage network.

Key Words: Mamuaba River, Gramame River; Morphotectonic; Morphometry; Neotectonic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo. Com visualização de toda a rede de drenagem da área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000.	16
Figura 2 – Esboço de uma definição teórica de geossistema.	24
Figura 3 – Principais propriedades de drenagem.....	29
Figura 4 – Os Principais padrões de drenagem	31
Figura 5 – Principais tipos de canais fluviais	32
Figura 6 – Classificação de ordem de canais de rede tributária	33
Figura 7 – Carta Topográfica Rio Mamuaba 1:25.000 digitalizada	36
Figura 8 – Parâmetros utilizados no cálculo do índice RDE para segmento de drenagem	38
Figura 9 – Crátons delimitados no território brasileiro e sua expressão no relevo	41
Figura 10 – Padrões aeromagnéticos do subsolo paraibano e compartimentação tectono-estratigráfica da Paraíba.....	43
Figura 11 – Recorte do mapa geológico da área	44
Figura 12 – Sub-bacias Miriri, Alhandra e Olinda que compõem a Bacia Paraíba.....	46
Figura 13 – Coluna estratigráfica da Sub-bacia Alhandra.....	47
Figura 14 – Tipos de clima da Paraíba segundo a Classificação de Köppen	54
Figura 15 – Monocultura de cana-de-açúcar no município de Pedras de Fogo	56
Figura 16 – Plantação de cana-de-açúcar em áreas de vertentes íngremes	57
Figura 17 – Usina canavieira e alto curso do rio Gramame	58
Figura 18 – Cartas de altimetria (a) e de declividade (b), referentes à carta Rio Mamuaba	61
Figuras 19 – Vertentes do rio Vermelho com alto grau de declividade	63
Figura 20 – Modelo em 3D mostrando a inclinação do relevo na área da bacia hidrográfica do rio Mamuaba e adjacências.....	64
Figura 21 – Anomalias nos canais fluviais que compõe a área da carta Rio Mamuaba.....	69
Figura 22 – Trechos de drenagem escolhidos para aplicação do índice de RDE.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de declividade	62
Tabela 2 – Variáveis morfométricas do rio Vermelho	72
Tabela 3 – Variáveis morfométricas do rio do Buraco	72
Tabela 4 – Variáveis morfométricas do rio do Fundo	73
Tabela 5 – Variáveis morfométricas do rio Jangada	73
Tabela 6 – Variáveis morfométricas do rio Santa Cruz, afluente da bacia do rio Gramame	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPRM	Companhia de Produção de Recursos Minerais
EIA	Estudo de Impactos Ambientais
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MDT	Modelo Digital do Terreno
N _{yi}	Granitóide de Quimismo Indiscriminado
RDE	Razão Declividade-Extensão
Rima	Relatório de Impactos ao Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Spring	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
Sudene	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
UTM	Universal Transversa de Mercator
UPEN	Unidade Petoestratigráfica Engenho Novo
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
3 JUSTIFICATIVA	18
4 OBJETIVOS	19
4.1 OBJETIVO GERAL	19
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
5.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA GEOMORFOLOGIA	20
5.2 INTERCONEXÃO ENTRE GEOMORFOLOGIA E GEOGRAFIA.....	21
5.3 CONCEITOS DE PAISAGEM E GEOSSISTEMA	23
5.4 NEOTECTÔNICA.....	25
5.5 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	28
6 ANÁLISE QUALITATIVA DE REDES DE DRENAGEM.....	29
6.1 BACIAS E PADRÕES DE DRENAGEM	30
6.2 TIPOS DE CANAIS FLUVIAIS	31
6.3 HIERARQUIAS FLUVIAIS	33
7 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....	35
7.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
7.1.1 Índice Relação Declividade-Extensão (RDE).....	37
8. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS.....	41
8.1 GEOLOGIA GERAL	41
8.2 GEOLOGIA REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
8.3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO	43
8.3.1 Formação Beberibe/Itamaracá	47
8.3.2 Formação Gramame	49

8.3.3 Formação Maria Farinha	50
8.3.4 Formação Barreiras	50
8.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA	51
8.4.1. Baixos Planaltos Costeiros ou Tabuleiros	52
8.5 CLIMA E VEGETAÇÃO	53
8.6 SOLO DA ÁREA DE ESTUDO	54
9 OCUPAÇÃO DA REGIÃO E PRINCIPAIS ÁREAS DE RISCO GEOMORFOLÓGICO FRENTE À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	56
10 ANÁLISE DA MORFOLOGIA E DA REDE DE DRENAGEM DA ÁREA	60
10.1 HIPSOMETRIA E DECLIVIDADE	60
10.2 MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)	64
10.3 MORFOMETRIA FLUVIAL E PRINCIPAIS INDÍCIOS DE NEOTECTÔNICA NA ÁREA.....	65
10.3.1 Análise qualitativa da rede de drenagem	67
10.3.2 Aplicação do Índice Morfométrico Relação Declividade-Extensão (RDE)	69
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	77
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

A caracterização morfológica e morfométrica de uma área possibilita conhecer com maior nível de detalhe o relevo e a geometria dos padrões de drenagem da região, proporcionando a visualização de possíveis áreas de risco de ocupação, do uso da terra e demais interferências antrópicas, permitindo que se tenha um melhor diagnóstico da evolução natural da paisagem. Este tipo de análise qualitativa e quantitativa permite que se conheça a influência da geologia (tipo de rocha e lineamentos) e da possível atuação da tectônica recente no desenvolvimento da morfologia do relevo e da rede de drenagem da área.

A área proposta para pesquisa abrange a região da carta topográfica Rio Mamuaba, na escala de 1:25.000, onde estão inseridos parte dos municípios de Alhandra, Pedras de Fogo e Santa Rita. A carta topográfica investigada está situada na borda oriental do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. Nessa pesquisa, as bacias hidrográficas e sub-bacias dos rios Mamuaba e Gramame foram escolhidas para aplicação do índice morfométrico e estudos de morfologia em seus afluentes, sabendo que os cursos de água constituem processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação do relevo terrestre (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As análises morfológicas e morfométricas foram aplicadas procurando-se detectar áreas afetadas por atividades de tectônica recente, por isso, essas bacias foram propostas porque possuem evidências morfológicas fortíssimas da ocorrência de possíveis movimentos neotectônicos, como por exemplo, padrão de drenagem assimétrico, afluentes da margem sul mais expressivos que os afluentes da margem norte e forte inflexão de alguns afluentes da bacia.

Essa fração do território paraibano foi selecionada para realização da pesquisa por possuir aspectos geológicos, geomorfológicos e ambientais de grande relevância, pois se trata, em grande parte, de uma área em franco processo de especulação imobiliária, e expansão da cultura da cana-de-açúcar, além de tratar-se, de uma área que abrange as cabeceiras de duas bacias hidrográficas de extrema importância para a região, que são as bacias do rio Gramame e Mamuaba sendo este último rio afluente do primeiro. Várias cidades, comunidades e agricultores da região fazem a captação de água dessas bacias.

As áreas litorâneas e suas adjacências exercem um imenso fascínio, de modo que as populações humanas tendem a aumentar a ocupação desse trecho territorial, mesmo que em alguns casos de modo sazonal. Quando a ocupação torna-se intensa, os fatores antrópicos superpõem-se aos fenômenos dinâmicos, exacerbando as suscetibilidades naturais e

introduzindo suscetibilidades induzidas e criando situações de crises cada vez mais complexas de diversos tipos (SUGUIO, 2000).

Através da caracterização geológica e geomorfológica de um local é possível conhecer os potenciais naturais existentes, facilitando a identificação de áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais ocorridos, interferência antrópica e a dinâmica da evolução natural da paisagem.

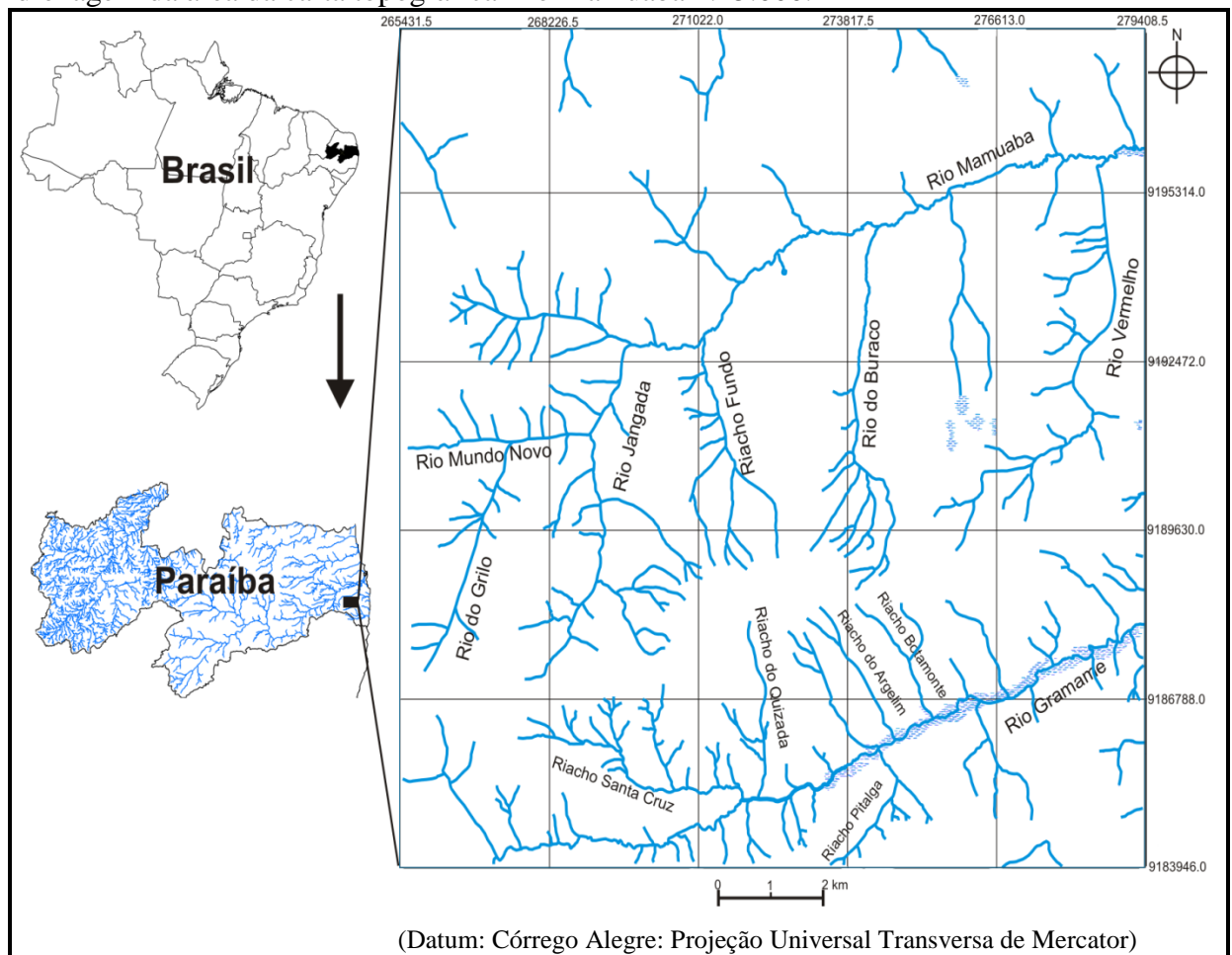
Este estudo averiguará a atuação de movimentos neotectônicos e sua relação com os aspectos geomorfológicos e o padrão de drenagem, considerando a direção dos cursos de água e feições morfológicas desenvolvidas na área. Através dessa pesquisa será possível perceber relações entre as feições geomorfológicas atuais, os padrões da rede de drenagem e a tectônica cenozoica regional nos Baixos Planaltos Costeiros presentes na área selecionada a pesquisa em tela.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área investigada corresponde a carta topográfica Rio Mamuaba na escala de 1:25.000 (SB.25-Y-C-III-1-SO) confeccionada pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1974). A mesma localiza-se na Mesorregião da Zona da Mata estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. Dentro dos limites da carta, encontra-se grande parte da bacia hidrográfica do rio Mamuaba e o alto curso do rio Gramame, onde foram aplicados os índices fluvio-morfométricos.

Essas bacias hidrográficas são compostas por vários afluentes sendo os mais expressivos: rio Vermelho, Fundo, do Buraco, Jangada, Mundo Novo, do Grilo, riacho Santa Cruz e demais córregos secundários que não possuem denominações, pela sua menor expressividade dentro das bacias (Figura 1).

Figura 1 - Localização geográfica da área de estudo. Com visualização de toda a rede de drenagem da área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000.



Fonte: Elaboração própria (2013).

Base Cartográfica: Carta Topográfica Rio Mamuaba 1: 25.000 (SUDENE, 1974).

Praticamente todas essas sub-bacias apresentam forte assimetria, bruscas inflexões e seus cursos principais são subsequentes. A bacia do rio Mamuaba deságua no baixo curso do rio Gramame que logo em seguida deságua na praia de Barra de Gramame, limite entre os municípios de João Pessoa e do Conde. A mesma bacia possui peculiaridades morfológicas bastante expressivas e facilmente visíveis como, por exemplo, o seu padrão de drenagem assimétrico, com os afluentes da margem sul mais expressivos que os afluentes da margem norte, e a forte inflexão de alguns dos seus afluentes no seu médio, alto ou baixo curso.

Também na área em análise é possível observar com muita nitidez uma estrutura dômica cujo cume central está o ponto mais alto da área em análise, com 213 m, denominado “Domo da Embratel” por Brito Neves et al. (2009). A mesma estrutura tem forte influência na disposição da rede de drenagem local, onde praticamente todos os canais situados ao sul da bacia possuem suas nascentes no alto dessa estrutura dômica, formando assim uma rede de drenagem radial.

3 JUSTIFICATIVA

A análise do meio físico de uma determinada área revela-se como uma ferramenta importante no que diz respeito ao planejamento e gestão de territórios. Pois, a partir dela, pode-se delinear um mapeamento preciso de pontos que apresentam necessidade de intervenção e determinar áreas degradadas. Para que haja qualquer estudo que envolva planejamento e ação em certo local, deve-se conhecer como condição primária, as suas características espaciais. Por isto, as técnicas cartográficas manuais e principalmente automatizadas, tem se desenvolvido cada vez mais, e subsidiando as pesquisas de caráter espacial.

Espera-se como resultado o melhor conhecimento da geomorfologia local, bem como a melhor compreensão da hidrografia da área que está atrelada a eventos tectônicos recentes, bem como identificar e cartografar áreas de maior risco geomorfológico a ocupação humana. Será possível, também, averiguar processos erosivos atuais como ravinas e voçorocas atribuídas às atividades humanas.

Esse estudo representa uma síntese da geomorfologia descritiva, bem como, um valioso instrumento para pesquisas futuras, tanto na própria área da geomorfologia, como em áreas correlatas, além de poder ser uma importante ferramenta nos estudos ambientais voltados para o planejamento territorial, planejamento ambiental, planos diretores municipais, bem como para os Estudos de Impactos Ambientais e Relatórios de Impactos Ambientais (EIAs-RIMAs).

A pesquisa ora apresentada estará fornecendo no decorrer da análise, uma enorme gama de informações e detalhes nunca antes apresentados para a área em questão. Poderão ainda ser obtidas informações sobre o uso e ocupação da terra, através das interpretações de imagens de satélite e em trabalhos de campo. Essas informações foram sintetizadas nas cartas temáticas apresentadas (hipsométrica e clinográfica), que como já salientado poderá ser um importante documento na elaboração de projetos de manejo e gerenciamento florestal, assim como também, geomorfológico.

Além dos estudos envolvendo a elaboração de produtos cartográficos e caracterização geomorfológica, também foram desenvolvidos estudos morfométricos em bacias hidrográficas que cortam a carta do Rio Mamuaba, sendo possível fazer relações entre as feições geomorfológicas atuais, os padrões da rede de drenagem e a tectônica cenozóica regional nos Tabuleiros Litorâneos, onde se assenta a área de estudo.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GERAL

Compreender o quadro geomorfológico e os aspectos da morfometria fluvial da carta topográfica Rio Mamuaba com escala 1:25.000, através do uso das técnicas de Geoprocessamento, considerando as formas de relevo e sua relação com os demais componentes do meio físico.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Descrever a morfometria fluvial das bacias hidrográficas, sub-bacias e canais fluviais, que compõe a área da carta topográfica Rio Mamuaba;
- b) Identificar atuação de movimentos neotectônicos e sua relação com o padrão de drenagem, direção dos cursos de água e feições morfológicas desenvolvidas, através de cálculos referentes à tectônica recente;
- c) Analisar o padrão do relevo da área da carta Rio Mamuaba através dos produtos cartográficos gerados (cartas de declividade e altimetria) e das observações de campo;
- d) Identificar pontos de susceptibilidade que representem riscos ambientais e áreas degradadas.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA GEOMORFOLOGIA

As primeiras reflexões que foram aplicadas na Geomorfologia tinham como princípio norteador o fato de que qualquer processo de interpretação resultava necessariamente de uma síntese constante, sendo fundamental o papel desempenhado pelas percepções (VITTE, 2004).

O filósofo norte-americano Charles S. Peirce, que trabalhou no U. S. Coast Survey propõe um método científico original no qual a Geomorfologia oferece inúmeros exemplos: a reverência ao trabalho de campo, uma humildade perante os fatos da natureza, um esforço contínuo para se discriminar o fenômeno observado a partir da inferência do observador sobre eles, uma inclinação para propor hipóteses e uma predisposição para abandoná-las quando suas consequências são contestadas pela realidade (VITTE, 2004).

O conhecimento geomorfológico surge como instrumental utilizado e inserido na realização de diversas categorias setoriais de planejamento. Na verdade, esses estudos versam sobre o processo de prognosticar e avaliar os impactos de uma atividade antrópica em um ambiente e esquematizar os procedimentos a serem utilizados preventivamente, para mitigar ou evitar seus efeitos.

A Geomorfologia analisa as formas do relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controladores, bem como a dinâmica evolutiva. Compreende os estudos voltados para os aspectos morfológicos da topografia e da dinâmica responsável pelo funcionamento e pela esculturação das paisagens topográficas. Dessa maneira, ganha relevância por auxiliar a compreender o modelado terrestre, que surge como elemento do sistema ambiental físico e condicionante para as atividades humanas e organizações espaciais (CHRISTOFOLETTI, 2007).

Vitte (2004) comenta que Grove Karl Gilbert, em 1895, afirmou que, quando o investigador procura descobrir a origem de um fato ou de um grupo de fatos, cuja origem é desconhecida, sua primeira atitude é conjecturar. Em outras palavras, ele constrói uma hipótese, passando, então, a testar a hipótese e o método da hipótese, encontrando suas aplicações da natureza inteiramente em fatos observados.

A ciência é construída com fatos, porém um simples acúmulo de fatos não é ciência. A caracterização que se pretende alcançar no presente trabalho não será baseada apenas num acúmulo de dados e fatos, mas, sim, nas interpretações desses dados e fatos observados baseadas em estudos similares e/ou empíricos.

Para Vitte (2004), o pesquisador deve rechaçar todas as alegações de que está alcançando a verdade absoluta e se contentar com o esforço mais modesto para desenvolver um sistema de interpretação que será aprovado na prática sob testes tais que os poderes humanos possam, num futuro, conceber.

As formas de relevo constituem o objeto da geomorfologia. Mas se as formas existem, é por que elas foram esculpidas pela ação de determinado processo ou grupo de processos. Dessa maneira há um relacionamento muito grande entre as formas, o estudo de ambos pode ser considerado como o objeto central desse ramo do conhecimento, como as características fundamentais do sistema geomorfológico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

É nesse contexto que a Geomorfologia é empregada, pois são as formas de relevo, tanto sua gênese como sua evolução, que é o seu objeto de estudo. Embora o relevo, numa rápida observação, pareça ser um componente estático do meio, o mesmo está em constante processo de evolução, com velocidades variadas, interagindo, a todo instante, com os demais componentes.

Segundo Guerra e Guerra (1997), abordando a Geomorfologia, ele a descreve como a ciência que estuda as formas de relevo, tendo em vista a origem, estrutura, natureza das rochas, o clima da região e das diferentes forças endógenas e exógenas que, de modo geral, entram como fatores construtores e destruidores do relevo terrestre.

As formas de relevo não são componentes independentes na paisagem e, conseqüentemente, sua evolução também não é. Quando se pretende entender a evolução da forma de relevo de uma determinada área, devem-se considerar as características geológicas, climáticas, hidrológicas, pedológicas e biológicas da respectiva área, bem como a atuação antrópica, pois o homem também é um componente do meio e um agente modificador de extrema atuação (FURRIER, 2007).

5.2 INTERCONEXÃO ENTRE GEOMORFOLOGIA E GEOGRAFIA

Na Geografia, a Geomorfologia constitui-se como uma das ciências interdisciplinares que auxiliam nos estudos de análise ambiental. De acordo com Christofolletti (1980) a Geomorfologia consiste na ciência que se ocupa em estudar objetivamente as formas de relevo, considerando além das formas, os processos e suas relações com os outros sistemas com o qual interagem.

A Geomorfologia, conforme Ross (1992), tem suas bases conceituais nas ciências da

Terra, mas fortes vínculos com as ciências humanas, à medida que pode servir como suporte para entendimento dos ambientes naturais, onde as sociedades humanas se estruturam e extraem os recursos para a sobrevivência, organizando seu espaço físico-territorial.

Como expressa Suguiu (2000), a Geomorfologia é uma ciência que atua em interface com vários outros campos do conhecimento, inclusive com a própria Geologia e Geografia no tocante às áreas referentes à morfoestratigrafia e a morfotectônica.

Ab'Sáber (1958), comenta que os estudos envolvendo temas de natureza geomorfológica são relativamente recentes no Brasil, onde, há pouco mais de meio século, alguns estudiosos, em sua grande maioria ligados à Geografia, iniciaram os primeiros trabalhos sob forte influência das escolas anglo-saxônicas.

O crescente aumento dos problemas ambientais e das transformações globais nessas ultimas décadas tem sido chocante. Dessa forma, as preocupações relacionadas às análises ambientais vem crescendo, principalmente as relacionadas as interferências do Homem nesse processo. A análise integrada do homem com o meio, sempre fez parte dos estudos holísticos da Geografia, desde suas raízes, porém essa perspectiva de análise também está sendo abordada por outros ramos das ciências, nesse sentido, a Geomorfologia não está a deriva nesse contexto, se tornando cada vez mais imbricada as análises geomorfológicas e geográficas.

A Geomorfologia Ambiental tem procurado abordar essa análise integrada cada vez mais, pois agora se tem clareza de que o homem deve ser considerado como um forte agente modificador do relevo, por tanto não pode ser deixado de fora desse processo. Essa preocupação permanece no trato dos conceitos geomorfológicos e na análise de como se integram e evoluem historicamente resultando em múltiplas possibilidades na análise geográfica.

Considerando o relevo no conjunto do quadro ambiental, Ross (2005) considera que as formas são dinâmicas e se manifestam de acordo com os componentes do estrato geográfico. Essas relações entre o relevo e os demais componentes do meio físico se traduzem pela troca de energia e matéria responsável, portanto, por sua gênese e evolução. É nesse aspecto que a geomorfologia se insere de forma especial, pois ao fazer parte da superfície externa da crosta terrestre, sofre e exerce influencia motora aos demais elementos do estrato geográfico.

Dessa forma Ross (2009) ressalta que se trabalha, atualmente, a Geomorfologia Aplicada e a Geografia Aplicada no território brasileiro, na ótica da análise ambiental Integrada, voltada tanto para entender os problemas ambientais e socioambientais específicos, como os relacionados ao planejamento ambiental, com o suporte dos zoneamentos ambientais,

ZEE (Zoneamentos Ecológico-Econômicos).

A interferência humana no relevo terrestre, sem um prévio e amplo estudo de suas potencialidades e fragilidades, acaba minimizando os recursos naturais que dele poderiam ser aproveitados, podendo, ao mesmo tempo, causar danos ao próprio homem, aos seus descendentes e ao meio ambiente.

A instabilidade do meio físico está intimamente ligada à atividade humana e ao seu grau de intervenção. Salvo algumas regiões do planeta, em que as atividades humanas não se desenvolveram significativamente, os ambientes naturais mostram-se em estado de equilíbrio dinâmico, apresentando maior ou menor fragilidade em função de suas características físicas e genéticas. A partir do momento em que as atividades humanas passam a ser desenvolvidas nesses ambientes, o equilíbrio dinâmico é modificado, passando a fragilidade a ser também regida pelo grau de intervenção (ROSS, 1994).

O relevo é o palco das mais variadas atividades humanas. Cada uma de seus compartimentos oferece à população nele fixada uma variada gama de benefícios e riscos, devido a sua gênese e seu processo evolutivo, podendo ainda ser ampliados, de acordo com o tipo de intervenção imposta pelo homem (MARQUES, 1994).

Pode-se, também, lembrar as conexões existentes entre três ciências autônomas: a Geografia, a Geomorfologia e a Geologia, pois, é balizado em premissas desenvolvidas nestas ciências que este trabalho tem o intuito de apresentar resultados, sabendo que estas lidam, cada uma ao seu modo, com seus respectivos objetos de estudo, mas conservando características em comum. Essa posição de independência é, entretanto, insuficiente para encobrir os profundos laços de origem que a ligam à Geografia e a Geologia (MARQUES, 1994).

5.3 CONCEITOS DE PAISAGEM E GEOSSISTEMA

Desde que a abordagem sistêmica foi introduzida nas ciências naturais através da Teoria Geral dos Sistemas, de Bertalanffy, em meado do século XX, possibilitou além de uma melhor compreensão dos sistemas ambientais, o avanço dos métodos de pesquisa na ciência geomorfológica e geográfica, principalmente, no Brasil.

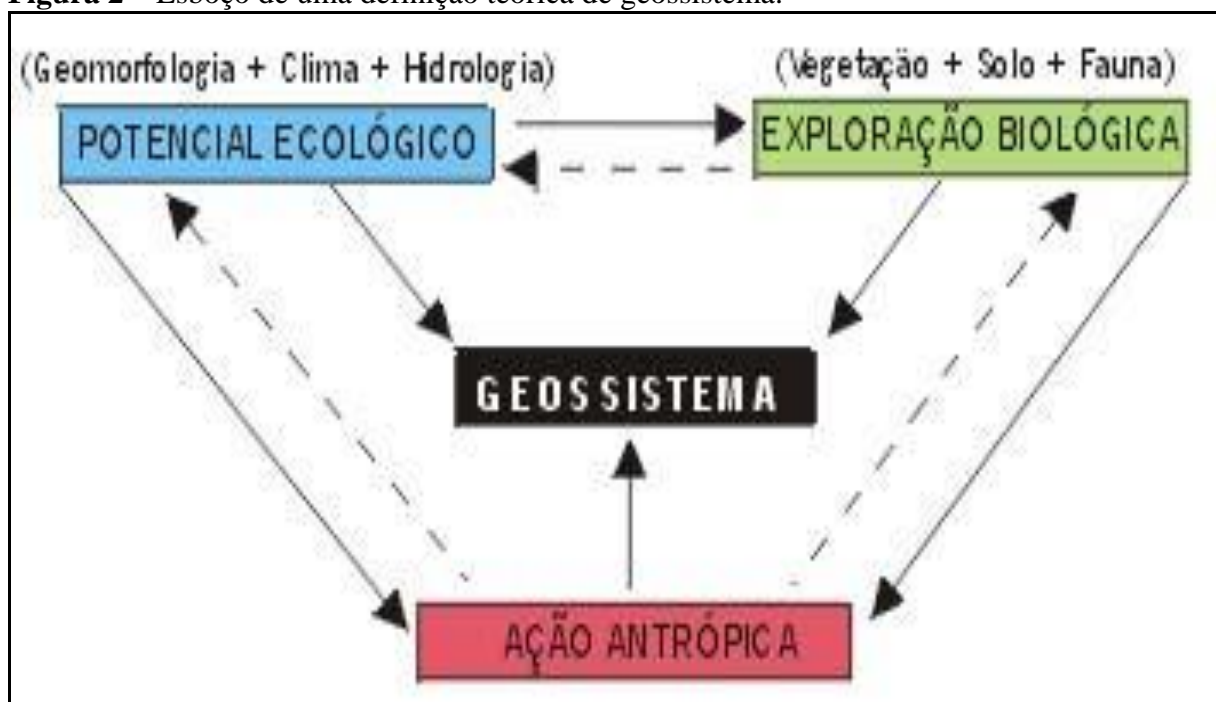
Esta análise alcançou todas as ciências e nessa perspectiva novas abordagens foram criadas como os Geossistemas de Sotchava em 1978 e Bertrand em 1968 e a Ecodinâmica de Tricart em 1977. Segundo Ross (2009) a definição de Geossistemas por Sotchava (1978) foi introduzida na literatura soviética e caracteriza-se no estudo dos componentes da natureza conexos entre si de forma dinâmica. Nesse sentido os Geossistemas configuram-se, como uma

classe peculiar de sistemas aberto e hierarquicamente organizados.

Bertrand (1971) em seu trabalho traduzido para o português como “Paisagem e geografia física global: esboço metodológico” foi quem introduziu, segundo Ross (2009), o conceito de Geossistema de Sotchava (1968) no Brasil. Nesse artigo Bertrand (1971 *apud* ROSS, 2009) tomou como base a construção do conhecimento sobre a “ciência da paisagem” e procurou demonstrar que o estudo da paisagem deve basear-se no conceito e nos métodos de Geossistema.

Bertrand (1972) menciona que o geossistema obedece a dados ecológicos relativamente estáveis. Para o autor, ele é o saldo do convênio de fatores geomorfológicos (natureza das rochas e dos mantos superficiais, valor do declive, dinâmica das vertentes...), climáticos (precipitações, temperatura...) e hidrográficos (lençóis freáticos epidérmicos e nascentes, tempos de ressecamento dos solos...), conforme expresso a seguir na (Figura 2).

Figura 2 – Esboço de uma definição teórica de geossistema.



Fonte: Adaptado de Bertrand (1972).

Foi a partir da publicação do Livro *Ecodinâmica* de Tricart em 1977 que a abordagem geomorfológica foi fortalecida dentro da concepção geossistêmica. Para Ross (2006) essa obra tornou-se a base metodológica fundamental das pesquisas geomorfológicas. Tricart (1977) definiu três níveis de ambiente de acordo com seu equilíbrio dinâmico: os fortemente instáveis, estáveis e intergrades. Os ambientes fortemente instáveis apresentam maior grau de

fragilidade ambiental, os estáveis apresentam uma certa fragilidade devido a lenta dinâmica presente e os ambientes intergrades apresentam um certo grau considerável de fragilidade, é considerado por Tricart (1977) como ambiente que corresponde a passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis. Segundo Tricart (1977), essa classificação dos ambientes permite não só o diagnóstico como o ordenamento do território. Para Tricart (1982),

O conceito científico de paisagem abrange uma realidade que reflete as profundas relações, frequentemente não visíveis, entre seus elementos. A pesquisa dessas relações é um tema de investigação regida pelas regras de método científico. [...] Ao pesquisador, cabe estudar toda parte escondida para compreender a parte revelada.

Nesse sentido Tricart (1977) considerou em sua proposta de Ecodinâmica a análise morfodinâmica na compreensão dos ecossistemas. Considerando essa visão Vitte (2008), inseriu a Geomorfologia como uma ciência interdisciplinar e principal núcleo agregador da Geografia Física, procurando investigar os elementos agregadores do meio ambiente.

5.4 NEOTECTÔNICA

Um dos elementos a ser explorado nesta pesquisa está relacionado ao estudo de movimentos neotectônicos e sua relação com o padrão de drenagem, direção dos cursos de água e feições morfológicas desenvolvidas. A terminologia “tectônica recente” trata das atividades tectônicas ocorridas desde o final do Terciário ao Quaternário, denominadas de atividades neotectônicas. Esse processo é evidenciado pela morfologia do relevo atual em várias partes do mundo, inclusive no Brasil.

O termo “neotectônica” ainda pouco divulgado no conhecimento popular foi empregado pela primeira vez em 1948 pelo geólogo soviético V. A. Obruchev, para definir os movimentos da crosta terrestre que se instalaram durante os períodos do Terciário Superior (Mioceno e Plioceno) e do Quaternário, e que assumiram um papel decisivo na formação da topografia contemporânea (SAADI, 1993).

A neotectônica é uma temática ainda muito pouco estudada no estado da Paraíba, apesar desse Estado possuir diversas evidências irrefutáveis da ocorrência de tectônica recente em seu território.

Alguns autores relacionam a origem do neotectonismo no Brasil à migração do continente sul-americano e consequente abertura do Atlântico Sul, iniciada no Terciário Médio, por considerar que essas movimentações ocorrem até os dias atuais. Dessa forma os

movimentos ainda não cessaram, sendo possível observar claramente suas marcas em todo litoral brasileiro.

Seguindo essa mesma linha Lima (2000), propõe que o início da deposição da Formação Barreiras e do último pacote das bacias costeiras, e o término do magmatismo em território brasileiro, há cerca de 12 M.a. Um dos trabalhos pioneiros em abordar o tectonismo moderno no Brasil foi o de Freitas (LIMA, 2000). Segundo esse autor, a conformação dos planaltos, as muralhas (*horsts*), as fossas (*grabens*) e os vales de “afundamento” (*rift valleys*) presentes em território brasileiro são evidências de uma tectônica cenozoica no Brasil. Porém, o maior interesse pelos estudos neotectônicos no Brasil só teve impulso a partir da década de 1970, pela necessidade ligada à construção de numerosas e gigantescas obras de engenharia civil, tais como as usinas hidroelétricas e nucleares (SUGUIO, 1999).

Estudos recentes têm atestado que a atividade sísmica intraplaca comprova a atividade tectônica quaternária no Nordeste (MAIA et al., 2011). O domínio dos Baixos Planaltos Costeiros no Estado da Paraíba reflete as características estruturais da área relacionada às reativações tectônicas cenozoicas. Sua configuração atual representa herança de uma complexa movimentação de blocos falhados que originam soerguimentos distintos e basculamentos, visualizados através das diferentes cotas altimétricas, da exumação de camadas sotopostas e dos diferentes níveis dos entalhes fluviais (FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006).

A tectônica recente afeta a Formação Barreiras ao longo da costa brasileira, do Amapá ao norte do Estado do Rio de Janeiro, sendo relatada em vários trabalhos que descrevem evidências de deformações tectônicas nessa unidade geológica (NOGUEIRA et al., 2006). Para Suguio (1999), a datação precisa do início do regime neotectônico é bastante difícil de definir e propõe que o início da deposição da Formação Barreiras, o fecho de sedimentação nas bacias marginais e o término das manifestações magmáticas em território brasileiro, em torno do Mioceno médio.

É por essa razão que os estudos relativos à neotectônica não ficaram somente relacionados aos aspectos fluviais, mas também leva em consideração a unidade litoestatigráfica da Formação Barreiras, tendo em vista, que a área de estudo está inserida, em sua maior parte, sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras, uma cobertura residual de plataforma capeadora de várias bacias marginais brasileiras, entre elas a Bacia Paraíba.

Segundo Alheiros et al. (1988), essa Formação é caracterizado pela presença de fácies

típicas de um sistema fluvial entrelaçado e transacionais para leques aluviais compostos por depósitos de granulometria variada, apresentando cascalhos, areias grossas e finas, de coloração creme amarelada com intercalação de microclastos de argila/silte. Sobre a Formação Barreiras, são desenvolvidos os Baixos Planaltos Costeiros com topos aplainados, ora soerguidos, ora rebaixados ou basculados por evidente atuação da tectônica recente (FURRIER et al., 2006; FURRIER, 2007).

Suguio (1999) coloca algumas fontes de dados para estudos de neotectônica no Quaternário, estes podem ser de natureza geológica, geomorfológica, geofísica, geodésica e histórica ou arqueológica. Na geológica, o pesquisador se preocupa em verificar as falhas, arqueamentos e deformações regionais. Na geofísica, as evidências mais utilizadas são as associadas às atividades sísmicas. Na natureza histórica há uma busca por registros em mapas de épocas mais antigas, ou relatos de ocorrências. As evidências geodésicas estão intimamente ligadas aos estudos de natureza geológica e geomorfológica.

No presente trabalho analisam-se os estudos entre as feições fisiográficas e as estruturas neotectônicas de região em estudo, que podem ser denominadas de geomorfologia tectônica ou morfotectônica (SUGUIO, 1999). Ou seja, utilizam-se as evidências de natureza geomorfológica, buscando anomalias relacionadas à rede de drenagem, ao interflúvio e às vertentes que há na área de estudo.

O estudo dos padrões de drenagem é de suma importância para se evidenciar esse tipo de evento, sendo a hidrografia considerada um dos elementos mais susceptíveis às modificações tectônicas crustais, respondendo de imediato a processos deformativos, mesmo aqueles de pequena escala e magnitude (ANDRADES FILHO, 2010). Tais características tornam a hidrografia e, conseqüentemente, as bacias hidrográficas elementos apropriados às análises de cunho neotectônico, que busque determinar áreas sujeitas a movimentações, permitindo, inclusive, avanços em termos quantitativos, acerca destas deformações.

Andrades Filho (2010) expõe diversos tipos de padrões em redes de drenagem, e aponta que elas podem apresentar feições em setores específicos que destoam do arranjo de seu conjunto, constituindo anomalias de drenagem. A significância da análise de tais feições ocorre principalmente, quando o substrato litológico é homogêneo, que é o caso da área da carta topográfica Rio Mamuababa, que segundo Brasil (2002), se situa sobre uma mesma litologia – a Formação Barreiras, quando ocorre dessa forma, as anomalias são tidas como fortes evidências de controle tectônico. Alguns índices podem auxiliar na identificação de terrenos com efeito tectônico, embora outras causas possam também estar envolvidas cabendo ao pesquisador julgar todas as possibilidades.

5.5 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Segundo Guerra e Guerra (1997) a morfometria é o estudo quantitativo das formas de relevo. Porém, os índices morfométricos serão aplicados em seguimentos de drenagem, nesse caso a morfometria fluvial pode ser entendida como o estudo de bacias hidrográficas, sub-bacias e canais fluviais com vista a uma análise linear, areal e hipsométrica. Os primeiros trabalhos nesse sentido foram realizados por Robert E. Horton em 1945, que procurou estabelecer leis do desenvolvimento dos cursos de água e suas respectivas bacias. Para isso se utilizou de uma análise quantitativa das bacias, o que serviu para uma nova concepção de metodologia (GUERRA; GUERRA, 1997).

As análises morfométricas para realização de estudos neotectônicos, tem ganhado destaque nos últimos anos por vários autores (BARBOSA et al, 2011; ETCHEBEHERE et al, 2006; FURRIER et al, 2006; FURRIER, 2007; POLZIN, 2008; SOUZA et al, 2010), com a utilização de índices fluvio-morfométricos, pois seus resultados são mais precisos e seguros. Fazendo uso desta ferramenta, será possível analisar a dinâmica endógena do terreno estudado, proporcionando maior conhecimento da dinâmica ambiental do mesmo.

Segundo Soares e Fiori (1976), citado por Andrades Filho (2010), algumas anomalias de drenagem mais comumente conhecidas são: paralelismo de canais em rede de padrão dendrítico; meandros isolados ou comprimidos; alargamento abrupto de canais; variação abrupta na forma de um vale; quebras abruptas dos canais de drenagem em forma de cotovelo e etc.

Press et al. (2006), aponta que os rios que escavam diretamente o substrato rochoso indicam regiões tectonicamente ativas e soerguidas a pouco tempo. Ocorrendo o contrário para regiões em que a tectônica está inativa, distinguindo uma paisagem de encostas suaves e largas planícies de inundação. Furrier et al. (2006) aponta que, recentemente, as pesquisas mostram que eventos tectônicos cenozóicos têm uma importância determinante na configuração do relevo atual.

6 ANÁLISE QUALITATIVA DE REDES DE DRENAGEM

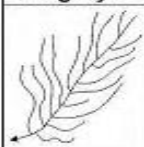
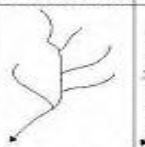
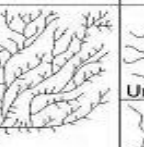
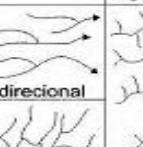
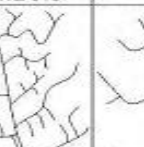

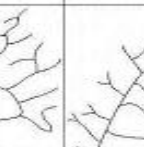
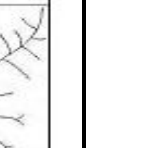
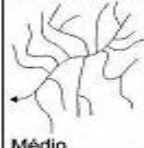
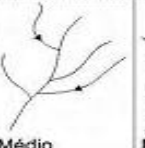
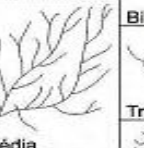

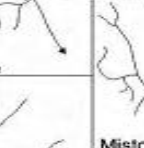




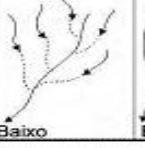
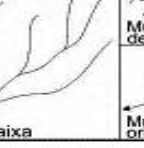

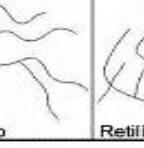
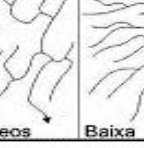
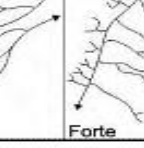
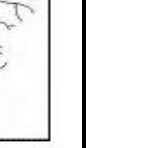
A análise das propriedades de drenagem, devido à sua grande sensibilidade às deformações do terreno, são ferramentas de interesse especial em análises de natureza topológica e morfométrica. Este tipo de análise qualitativa permite que se conheça a influência da geologia (tipo de rocha e lineamentos) e da possível atuação da tectônica recente no desenvolvimento da morfologia do relevo e da rede de drenagem da área.

Dentre todos os elementos do meio físico encontrados em determinada extensão areal, a bacia hidrográfica sem dúvidas vem a ser uma das melhores ferramentas para a compreensão dos processos ocorrentes ao longo do tempo geológico, explicitando em sua própria morfologia os eventos sob os quais a mesma foi submetida, sendo eles de natureza climática, antrópica ou estrutural.

Para Barrela et al. (2001), a bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

A descrição e análise qualitativa das propriedades de drenagem estão calcadas, primordialmente, nos graus de integração e de continuidade, bem como na densidade, tropia, controle, sinuosidade, angularidade, ângulo de junção, e assimetria (HORTON, 1945; HOWARD, 1967 segundo ANDRADES FILHO, 2010), como se pode verificar na (Figura 3).

Figura 3 – Principais propriedades de drenagem

Grau de Integração	Grau de Continuidade	Densidade	Tropia	Grau de Controle	Sinuosidade	Angularidade	Assimetria
 Alto	 Alto	 Alta	 Unidirecional	 Forte	 Curvos	 Alta	 Fraca
 Médio	 Médio	 Média	 Bidirecional	 Forte	 Mistos	 Média	 Forte
 Baixo	 Baixo	 Baixa	 Multidirecional desorientada	 Fraco	 Retilíneos	 Baixa	 Forte

Fonte: Soares; Fiori, (1976), segundo Andrades Filho, (2010).

Segundo Christofolletti (1980), o estudo de uma rede de drenagem fluvial é de grande relevância, uma vez que, pela análise do traçado dos rios e vales, bem como da morfologia do relevo de uma bacia, é possível aclarar inúmeras questões de natureza geomorfológica. Nessa perspectiva, a Geomorfologia Fluvial interessa-se pelo estudo dos processos e das formas relacionadas com o escoamento dos canais, pois os acontecimentos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem direta ou indiretamente nos cursos d'água.

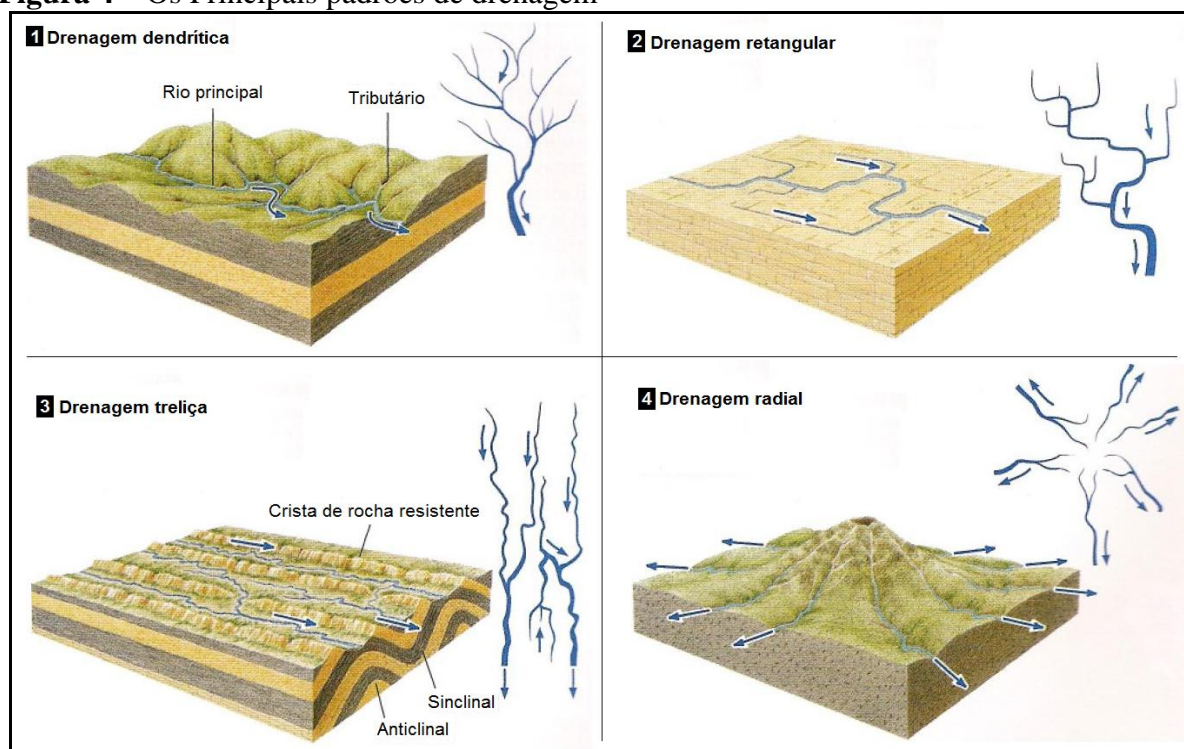
6.1 BACIAS E PADRÕES DE DRENAGEM

Os cursos de água são os principais componentes de uma bacia de drenagem. Uma bacia de drenagem é separada das outras bacias por divisores topográficos de água, portanto toda água disponível dentro da bacia de drenagem é canalizada naturalmente para um exutório.

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, o fluxo de água que atinge os cursos fluviais esta condicionado ao tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e das perdas devido a evapotranspiração e à infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O estudo dos padrões de drenagem é um assunto amplamente debatido na literatura geomorfológica. Uma área composta por um conjunto de canais interligados configura uma rede de drenagem. A classificação dos padrões de drenagem vem sendo discutida por diversos especialistas da área, observado a partir da geometria dos canais possui alguns tipos básicos que serão considerados nesse trabalho: dendrítico, retangular, treliça, radial (Figura 4), entre outros.

Segundo Christofolletti (1980) e Argento (2007), a drenagem dendrítica possui um padrão que se assemelha aos galhos de uma árvore. Utilizando-se dessa imagem o canal principal seria o tronco da árvore, e os galhos corresponderiam aos canais secundários. Esse padrão é mais comum em rochas estratificadas horizontais ou, ainda, que apresentem resistência uniforme. A drenagem retangular é uma modificação da drenagem em treliça, apresentando condicionantes estruturais e tectônicos que dão origem a arranjos de canais com ângulos aproximadamente retos.

Figura 4 – Os Principais padrões de drenagem

Fonte: Adaptado de Press et al. (2006).

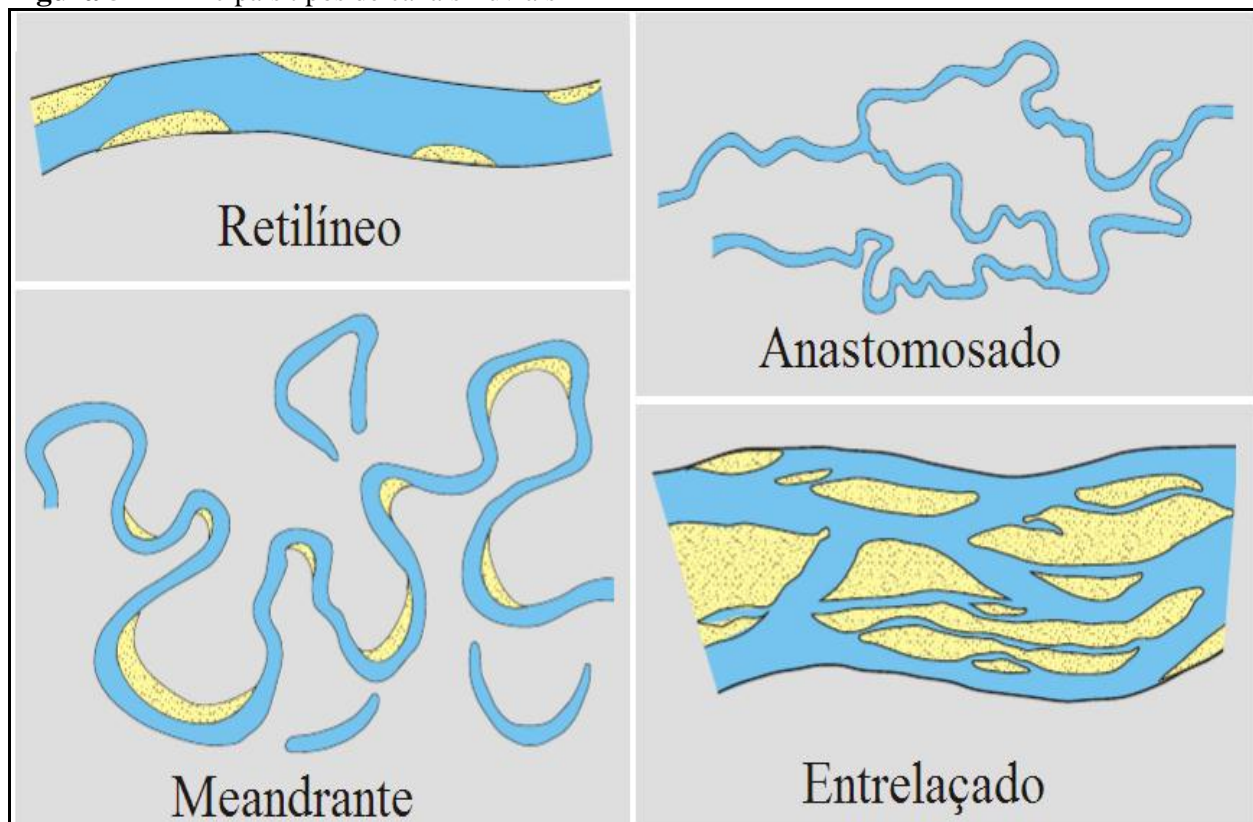
Ainda segundo os mencionados autores o padrão em treliça, é composto por rios principais consequentes, correndo paralelamente. A drenagem também exibe um padrão retangular, todavia, com tributários paralelos entre si recebendo afluentes subsequentes que fluem em direção transversal aos primeiros, comuns de áreas com substratos compostos por rochas mais ou menos resistentes. A drenagem radial é composta por correntes fluviais que se encontra disposta como os raios de uma roda em relação a um ponto central que geralmente é mais elevado. Ela pode se desenvolver sobre os mais variados embasamentos e estruturas, sendo comuns em domos, cones vulcânicos e morros isolados.

6.2 TIPOS DE CANAIS FLUVIAIS

Canais fluviais são os locais por onde escoam as águas fluviais. Os canais podem se apresentar em diferentes formas na superfície do planeta. Os mais variados tipos de canais fluviais correspondem a forma de se padronizar e se distribuir espacialmente ao longo do curso do rio. De acordo com Riccomini et al. (2009), a maioria dos estudos sobre canais fluviais emprega uma classificação fundamentada em quatro tipos básicos de canais fluviais que são: retilíneo, meandrante, entrelaçado e anastomosado (Figura 5). Esses padrões podem

ser caracterizados por parâmetros que avaliem a sinuosidade, grau de entrelaçamento e relação entre largura e profundidade, utilizando-se índices morfométricos.

Figura 5 – Principais tipos de canais fluviais



Fonte: Adaptado de Miall, A. D. (1977 *apud* RICCOMINI et al., 2009).

Os canais retilíneos são aqueles em que o rio percorre um trajeto reto, sem se desviar significativamente do seu curso comum em direção à foz, são geralmente canais curtos, com exceção dos cursos controlados por falhas ou fraturas tectônicas. Outro condicionante para a ocorrência dos canais retos é a presença de um leito rochoso homogêneo. Os canais anastomosados dependem fortemente da ação da vegetação na fixação das margens e apresentam diversas ramificações de canais que se subdividem e se reencontram em um padrão complexo de canais onde os fluxos de água se dividem e se reúnem naturalmente sem haver geralmente nenhuma presença de um canal principal.

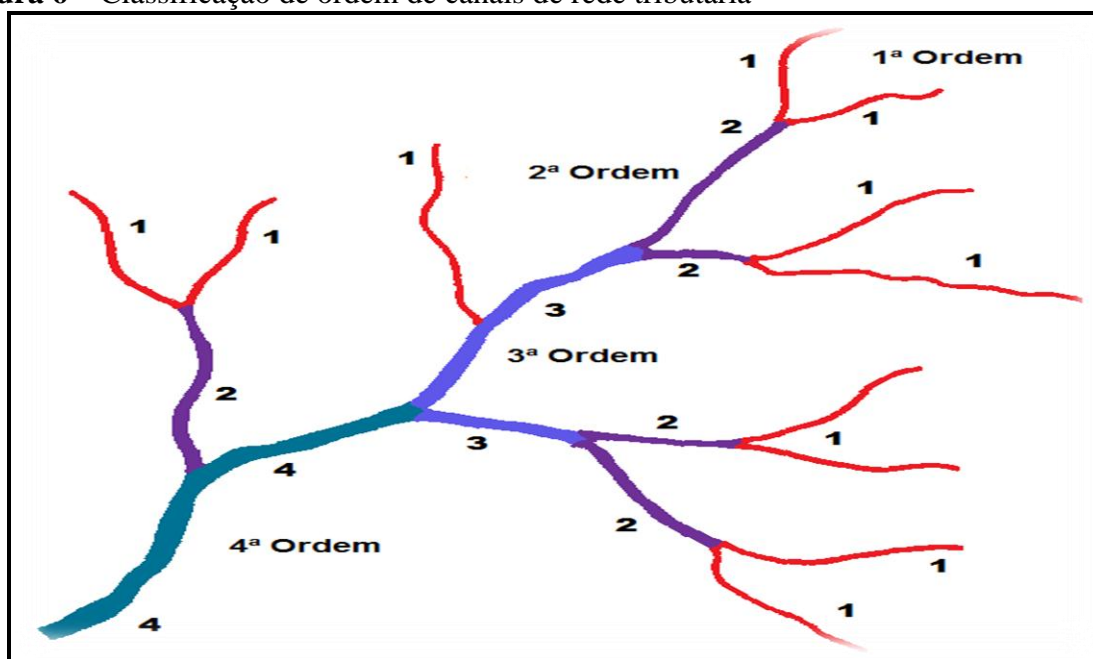
Os canais meandantes formam curvas sinuosas, largas ou acentuadas semelhantes entre si, em sua planície aluvial, que mudam de traçado devido às variações de maior ou menor energia fluvial no canal. Os canais entrelaçados apresentam grande volume de carga de fundo, que, associado às flutuações das descargas, dão origem a ramificações que se dividem e se reecontram, formando barras arenosas.

6.3 HIERARQUIAS FLUVIAIS

Segundo Christofoletti (1980) a hierarquia fluvial é o processo de se estabelecer de forma clara a classificação de determinado curso de água no conjunto total da área da bacia hidrográfica. Essa descrição de fluxos de drenagem fluvial pode ser analisada na estrutura de uma rede de afluente dentro de um sistema típico de uma bacia. Ainda segundo o autor quem propôs de modo mais preciso os criterios iniciais para ordenação dos cursos de água foi Robert E. Horton, em 1945. Para Horton, os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem somente recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributarios de segunda ordem, podendo também receber tributarios de primeira ordem e assim sucessivamente.

Strahler (1952 *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980), considera canais de primeira ordem aqueles de menor expressividade sem tributários; já os de segunda ordem surgem da confluência exclusiva de dois canais de primeira ordem; os de terceira ordem são aqueles que recebem junção de dois canais de segunda ordem, podendo abranger, também, de primeira ordem; os de quarta ordem devem receber confluência de dois de terceira e contempla, também, canais de ordem inferiores. E assim sucessivamente, como está exemplificado na figura a baixo (Figura 6).

Figura 6 – Classificação de ordem de canais de rede tributária



Fonte: Adaptado de Roach (2012).

Dessa forma um sistema de rio pode ter qualquer número de ramificações, mas sempre começa numa fase tributária de primeira ordem (nascentes). Os canais relacionados com a primeira ordem geralmente situam-se nos pontos mais altos da rede de drenagem. Consequentemente, as zonas que confinam os canais de ordens superiores estão situadas frequentemente em trechos de menor altitude na rede de drenagem de baixas altitudes, onde, às vezes, se formam várzeas.

7 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

7.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para as inúmeras ciências que trabalham com diferentes aspectos do mundo real, à exemplo da Geografia, Biologia, Sociologia, entre tantas outras, as técnicas exercem um importante papel no processo de produção científica, auxiliando estudantes e pesquisadores na obtenção e sistematização de informações que irão subsidiar seus argumentos, atribuindo-lhes consciência e objetividade (VENTURI, 2005).

A metodologia empregada nesse trabalho foi desenvolvida a partir da obtenção de atributos referentes ao terreno (características geológicas e geomorfológicas), à bacia hidrográfica, seguida de análise morfométrica da rede de drenagem, onde esses parâmetros serviram de base para avaliação das condições físicas do terreno e também para detecção de prováveis deformações neotectônicas.

Inicialmente, para fundamentar a pesquisa, foi indispensável realizar uma revisão bibliográfica referente à área de estudo no que diz respeito aos aspectos físicos, geológicos, tectônicos e estruturais, bem como consultar materiais cartográficos e imagens orbitais como a do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) que amparassem a análise e interpretação da área. Logo em seguida, foi exercida a fase de digitalização da carta topográfica Rio Mamuaba na escala de 1:25.000 (SB.25-Y-C-II-4-NE), com equidistância das curvas de nível de 10 m confeccionada pela (SUDENE, 1974). Nessa etapa, a referida carta topográfica foi introduzida no computador através de um *scanner*, e posteriormente foi vetorizada em software específico.

Dessa forma o tratamento da carta topográfica foi, primeiramente, a sua digitalização, etapa que, segundo Fitz (2008), compõe um processo em que um produto como um mapa ou imagem é introduzido no computador através de um *scanner*, que fotocopia digitalmente o material por um procedimento de rasterização, e quando esta etapa é concluída a imagem estará em formato raster (Figura 7).

A pesquisa se apoiou na elaboração de produtos cartográficos digitais, obtidos a partir da vetorização da carta topográfica Rio Mamuaba, vetorizada manualmente sendo a responsabilidade do traçado do operador do *software*. A partir da vetorização da carta base, tornou-se possível através da utilização do *software* SPRING 5.1.7, elaborar cartas temáticas de altimetria e declividade (hipsométrica e clinográfica), e o Modelo Digital do Terreno (MDT). Ambas as cartas foram produzidas com a utilização das curvas de nível da carta

As técnicas utilizadas para a elaboração das cartas temáticas propostas, consistiram basicamente, em duas fases. A primeira fase foi a confecção da carta de altimetria e a de declividade, que necessitaram de cálculos matemáticos executados por *softwares* específicos. Como já mencionado por mais de uma vez, a carta foi primeiramente escaneada para posterior vetorização, em *software* apropriado, de todo o seu conteúdo, como: curvas de nível, hidrografia, malha rodoviária, área urbana, limites administrativos, etc.

Após a vetorização da carta topográfica, as curvas de nível foram transportadas para o software livre SPRING 5.1.7 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), com o qual foram feitos os cálculos que resultaram nas cartas de altimetria e declividade.

Foi gerado o Modelo Numérico do Terreno que foi essencial para confecção das cartas hipsométrica e clinográfica. A primeira mostra a representação altimétrica do relevo pelo uso de cores convencionais, e a segunda exhibe os níveis de declividade do terreno. A análise dessas cartas temáticas foi de fundamental importância na elaboração deste trabalho, pois se pode observar várias discrepâncias topográficas, diferentes níveis de entalhamento, padrões assimétricos de várias bacias hidrográficas adjacentes e inflexões bruscas em vários rios da região.

Para a carta de altimetria, os intervalos foram delimitados a cada 10 m, até o limite de 20 m, e, a cada 20 m, até o limite de 220 m que é o ponto mais elevado da área em questão. Para a elaboração da carta clinográfica foram adotadas as classes de declividade propostas por Herz e De Biase (1989), e foram delimitadas e especificadas da seguinte forma: 0-12%, 12-30%, 30-47%, 47-100% e $> 100\%$. Essas classes foram amarradas a limites usados internacionalmente, bem como a trabalhos de pesquisa desenvolvidos por pesquisadores nacionais, e a leis vigentes no Brasil.

A segunda etapa já com as cartas temáticas geradas na etapa anterior em mãos, e com ajuda de imagens de satélite, foram traçados os principais pontos de estudos de campo, que foram os pontos referentes às maiores declividades, planícies de inundação ocupadas, e canais fluviais anômalos. O trabalho de campo foi realizado, com os materiais cartográficos em mãos, câmera fotográfica e aparelho de GPS (*Global Position System*).

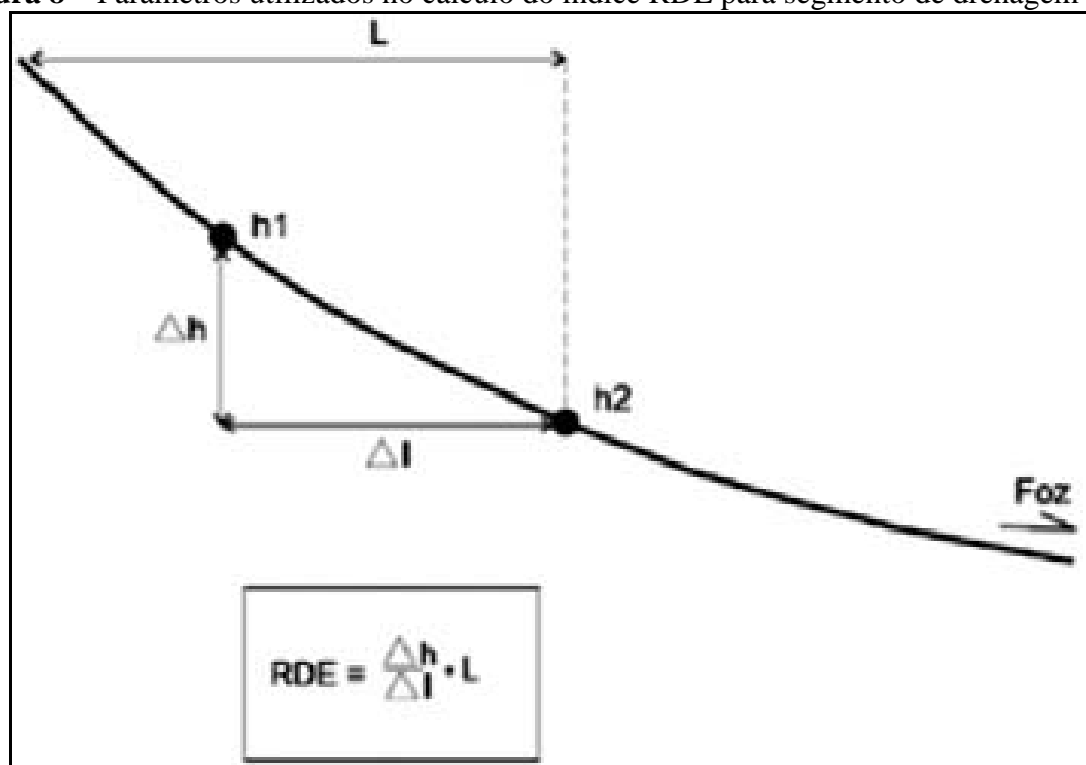
7.1.1 Índice Relação Declividade-Extensão (RDE)

Além do estudo morfológico da rede de drenagem, foi aplicado o índice Relação declividade-extensão (RDE) que foi proposto inicialmente por Hack (1973), conhecido como

índice SL (Relação *Slope vs. Length*). Segundo Etchebehere et. al. (2006) este índice é um indicador sensível de mudanças na declividade do canal fluvial, que podem estar associadas a movimentos de natureza tectônica.

Esse cálculo morfométrico foi importantíssimo nessa pesquisa, ele é obtido através da diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso de água, ou seja, é a diferença altimétrica da nascente do rio até a sua foz, representado por ΔH , e na projeção horizontal da extensão do referido segmento (ΔL). Assim, $\Delta H/\Delta L$ corresponde ao gradiente da drenagem no trecho. O logaritmo natural da extensão total do curso de água é definido por $\ln L$. A letra “L” corresponde à extensão total do canal da nascente até o ponto final do trecho para onde o índice RDE está sendo calculado (MARTINEZ, 2005). Para o cálculo de “L”, o ponto de partida do segmento de drenagem pode ser o ponto médio da extensão do referido segmento até a nascente do rio (EL HAMDOUNI et al. 2008) (Figura 8).

Figura 8 – Parâmetros utilizados no cálculo do índice RDE para segmento de drenagem



Fonte: Etchebehere (2000).

Para efetuar a aplicação do índice RDE nas bacias hidrográficas dos rios Mamuaba e Gramame se consideraram os afluentes de grande porte, extensão e hierarquia fluvial, e efetuou-se o cálculo de RDE (total). Em seguida eles foram divididos em três segmentos, cada

um de tamanhos semelhantes e calculou-se o RDE (trecho) de todos os segmentos. A fórmula utilizada para o cálculo de ambos foi respectivamente:

$$\begin{aligned} &\text{RDE (total): } (\Delta H / \text{Ln} L) \\ &\text{e} \\ &\text{RDE (trecho): } (\Delta H / \Delta L) \times L \end{aligned}$$

Onde, no RDE (total):

- ❖ ΔH é a diferença altimétrica entre a cota localizada a cabeceira do rio e a cota localizada na foz do mesmo (m); e
- ❖ $\text{Ln} L$ é o logaritmo natural da extensão total do curso de água (m).

E no RDE (trecho):

- ❖ ΔH é a diferença altimétrica entre dois pontos selecionados no curso de água (m);
- ❖ ΔL é o comprimento sinuoso do trecho analisado (m); e
- ❖ L corresponde à extensão total (em linha reta) que vai da nascente do canal até o ponto final do trecho para onde o índice RDE está sendo calculado (m).

A metodologia empregada para obtenção dos valores de RDE foi dividida em três passos. Inicialmente, foram eleitos os rios alvo da averiguação, por representarem os canais fluviais de grande expressividade dentro das bacias Mamuaba e Gramame. Os rios selecionados pertencem à porção sul da carta topográfica, onde se observa os maiores indicativos de atividade de tectônica recente, evidenciadas através da análise de produtos cartográficos e de imagens em 3D do terreno. Em seguida, com o auxílio do *software* Spring 5.1.7, mediu-se a extensão horizontal de cada segmento de drenagem. As cotas das nascentes e dos pontos terminais dos cursos de água foram medidas de acordo com o valor das curvas de nível adjacentes. Por fim, realizou-se os cálculos obedecendo as fórmulas, e os valores obtidos foram sistematizados em uma tabela para realizar o cálculo dos índices morfométricos e sua posterior análise.

Após a finalização da confecção dos produtos cartográficos, assim como também dos cálculos morfométricos, o procedimento adotado foi a análise qualitativa e quantitativa de seus respectivos conteúdos, o que forneceu informações com um bom nível de detalhamento

da área em questão, apresentando dados sobre a configuração geomorfológica e morfotectônica, permitindo caracterizar os padrões de drenagens, as declividades das vertentes e a altimetria da área estudada, a fim de compreender a evolução morfológica do terreno.

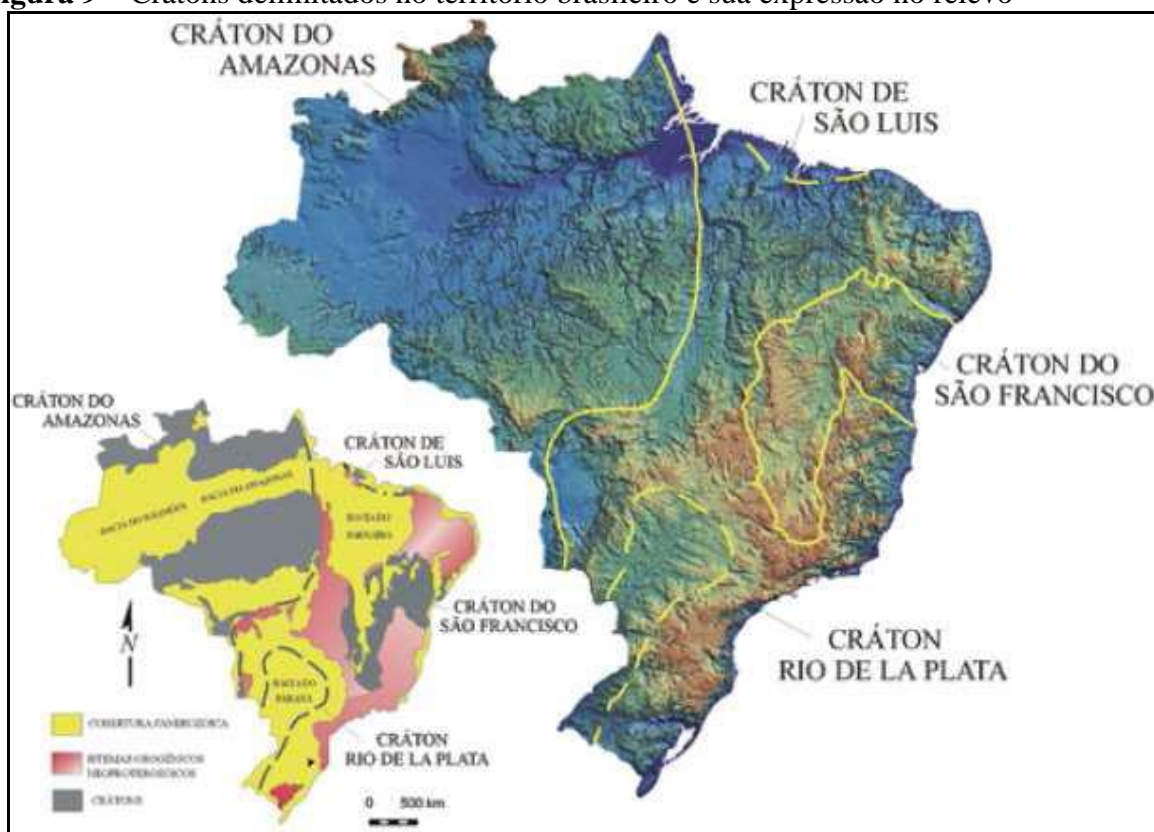
Portanto, para alcançar o objetivo proposto foi realizada uma quantificação de aspectos morfológicos, através de resultados morfométricos adquiridos nas cartas hipsométrica e clinográfica e aplicação do índice RDE. Os resultados obtidos podem não só evidenciar as atividades neotectônicas nas bacias hidrográficas em estudo, mas também tornar possível quantificá-las e compará-las com outras bacias hidrográficas estudadas em regiões distintas, submetidas aos mesmos eventos.

8. ASPECTOS FISIOGRAFICOS E GEOLÓGICOS

8.1 GEOLOGIA GERAL

A formação do território brasileiro originou-se da junção de quatro grandes crátons de áreas continentais que são: cráton do Amazonas, cráton do São Francisco, cráton de São Luis e o cráton do rio de *La Plata* (Figura 9). De acordo com Guerra e Guerra (1997) cráton são áreas de proporção continental que sofreram pouco ou nenhuma deformação desde o Pré-Cambriano, há mais de 570 milhões de anos. Com o processo de junção dos crátons originaram-se três grandes bacias intracratônicas que são: a Bacia do Amazonas, Bacia do Parnaíba e a Bacia do Paraná. É importante lembrar que com o término desse processo não houve no Brasil outros eventos de proporção e magnitude semelhante. Dessa forma, o território brasileiro por possuir uma margem do tipo passiva, os mais diversos pesquisadores afirmam que a área territorial do Brasil não possui dobramentos modernos, em consequência disso, as formas de relevo possuem altimetrias modestas, pois o Brasil ao longo de milhões de anos vem passando por um processo de dissecação intenso.

Figura 9 – Crátons delimitados no território brasileiro e sua expressão no relevo



Fonte: Alkmim (2004).

8.2 GEOLOGIA REGIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

O substrato geológico paraibano é formado em sua grande parte por rochas pré-cambrianas, as quais ocupam mais de 80% do seu território, sendo complementado por bacias sedimentares, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias (BRASIL, 2002).

Segundo a mesma obra, esse substrato precambriano está incluído na Província da Borborema, de idade meso a neoproterozóica, representada no Estado pelos seguintes domínios geotectônicos: subprovíncia Rio Grande do Norte, que inclui os terrenos Granjeiro, Rio Piranhas e São José do Campestre e a faixa Seridó; subprovíncia Transversal, onde se reconhece a faixa Piancó-Alto Brígida e os terrenos Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe; e uma pequena porção da faixa Orós-Jaguaribe. Zonas de cisalhamento, principalmente de idade neoproterozóica, separam esses domínios tectonoestratigráficos e constituem as principais feições geotectônicas do Estado.

As coberturas sedimentares do Estado estão preservadas, geralmente em sítios extensionais cretáceos relacionados com a abertura do Oceano Atlântico (bacias restritas e um pulso vulcânico), em sequências sedimentares e vulcano-sedimentares continentais paleógeno-neógenas e em formações superficiais quaternárias (BRASIL, 2002). Ainda de acordo com Brasil (2002) as principais diferenças entre os domínios e terrenos do território paraibano envolvem, sobretudo, a diversidade dos episódios de acreção, sedimentação, vulcanismo e plutonismo pré-brasilianos, porquanto a deformação e o plutonismo granítico brasilianos afetaram todos os segmentos, domínios e terrenos da Paraíba em escalas regionais.

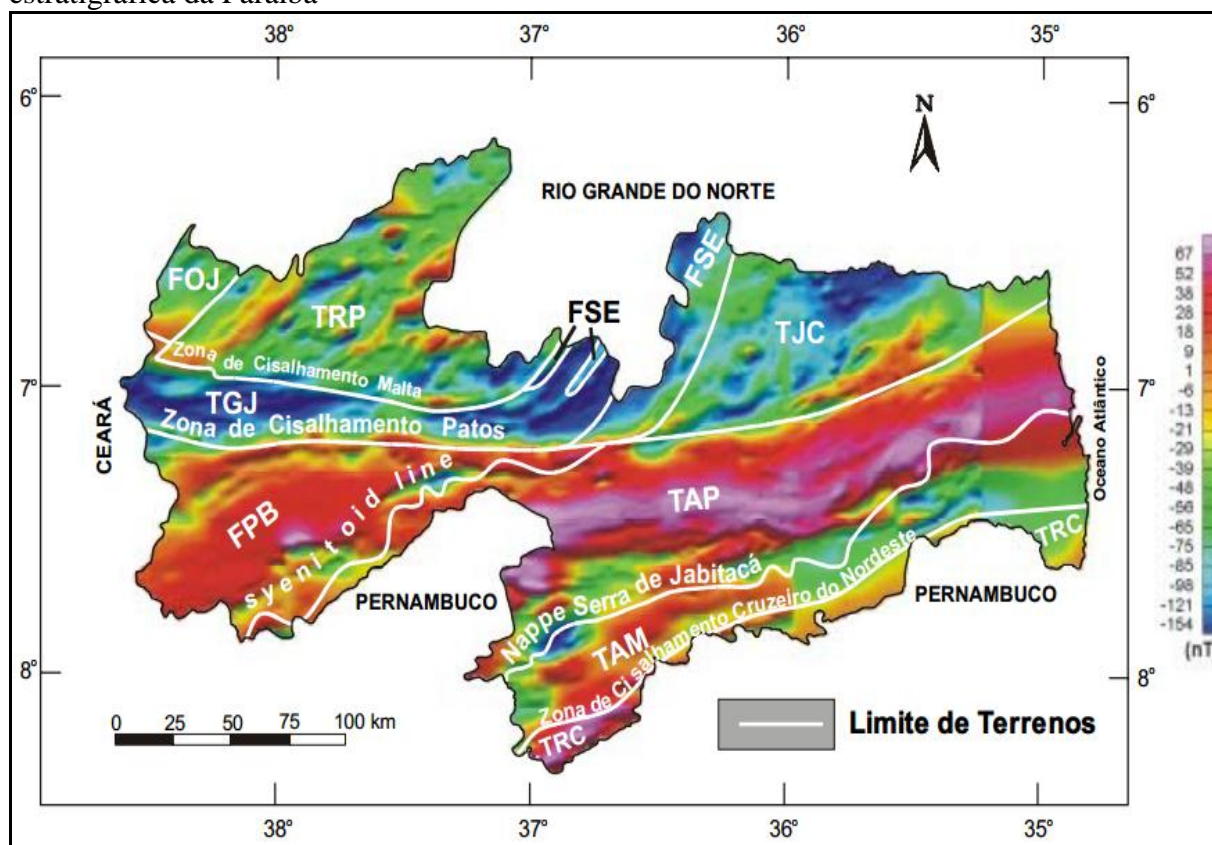
De acordo com Almeida et al. (1977 *apud* BRASIL, 2002), a área pré-cambriana corresponde a partes da Província Borborema, um cinturão orogênico meso/neoproterozóico que contempla partes da Região Nordeste, indo de Sergipe até a porção oriental do Piauí.

Os registros geológicos fanerozóicos do Estado da Paraíba são representados por raros remanescentes da Bacia do Araripe, por sedimentos cretácicos das formações Rio Piranhas, Sousa e Antenor Navarro (Bacia do Rio do Peixe), pela rocha vulcânica félsica Itapororoca, formações Gramame e Beberibe/Itamaracá (Bacia Pernambuco-Paraíba), sedimentos paleógenos e paleoneógenos das formações Serra do Martins, Campos Novos, rocha vulcânica máfica Boa Vista, Grupo Barreiras e por formações superficiais quaternárias restritas (BRASIL, 2002).

Na Paraíba são reconhecidos diversos segmentos dos domínios (subprovíncias, superterrenos): Cearenses, Rio Grande do Norte e Transversal. Os padrões aeromagnéticos da Paraíba suportam esta compartimentação crustal e salientam a grande importância do

Lineamento Patos (BRASIL, 2002). Uma das feições geológicas mais marcantes da compartimentação crustal do território paraibano é justamente o Lineamento Patos, apresentado como um extenso bloco de embasamento fortemente retrabalhado no ciclo Brasileiro-Panafricano. O Lineamento Patos praticamente divide o Estado da Paraíba em dois grandes compartimentos como pode ser observado na figura a baixo (Figura 10).

Figura 10 – Padrões aeromagnéticos do subsolo paraibano e compartimentação tectono-estratigráfica da Paraíba



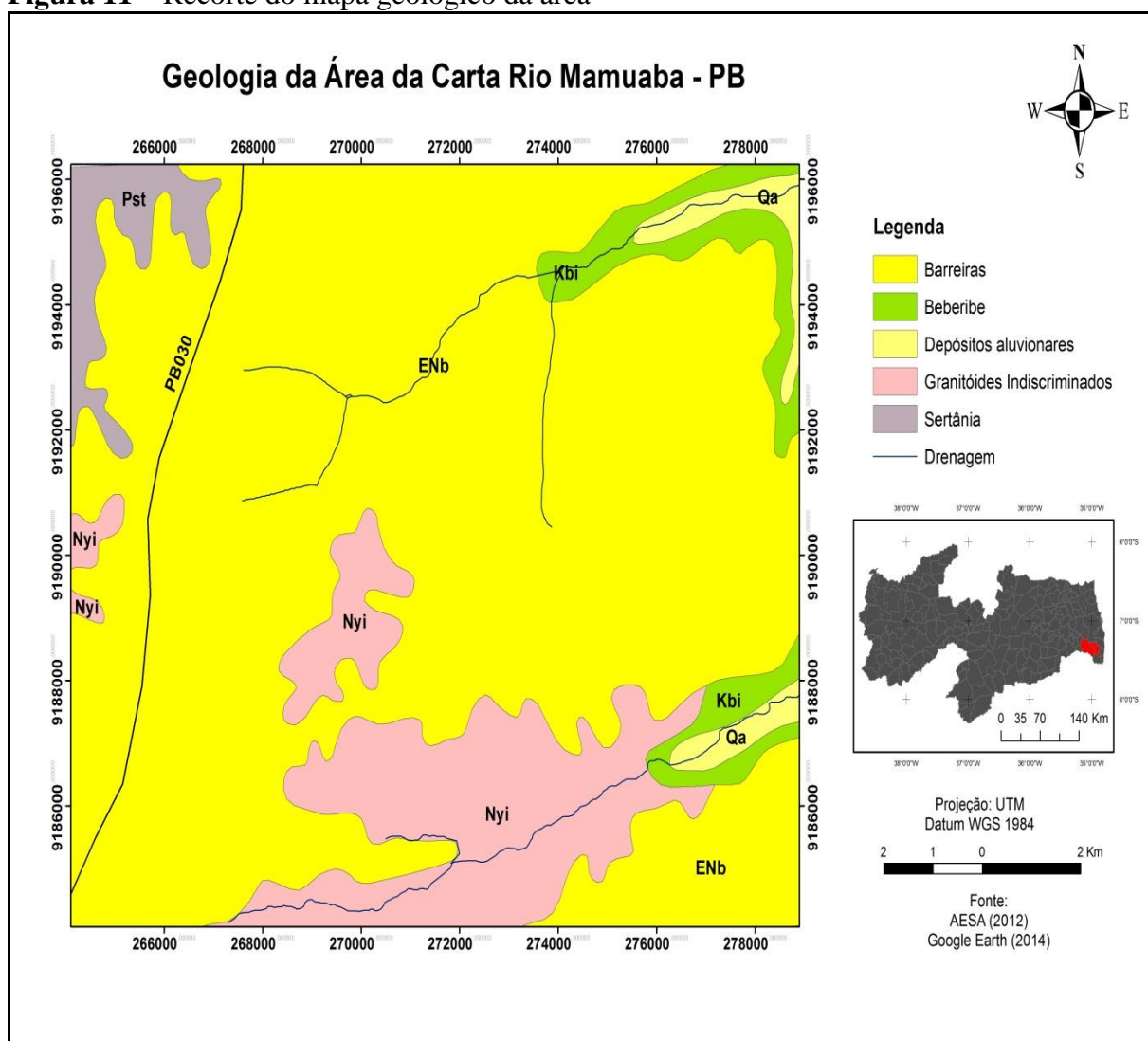
Fonte: Brasil (2002).

8.3 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

A região que corresponde à área da carta topográfica Rio Mamuaba encontra inserida na Bacia Sedimentar Paraíba, Sub-bacia de Alhandra, correspondendo em quase toda sua totalidade por sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras, unidade litoestratigráfica, de idade miocênica, caracterizada por extensos tabuleiros geralmente com topos aplainados. A Formação Barreiras ocorre desde o estado do Amapá até o norte do estado do Rio de Janeiro (ARAI, 2006).

Na porção correspondente ao litoral paraibano, essa unidade litoestratigráfica repousa de forma discordante, sobre o embasamento cristalino e sobre a Bacia marginal Paraíba que segue o sentido de oeste para leste respectivamente (FURRIER et al., 2006). No sentido leste-oeste, a Formação Barreiras alcança extensões variáveis entre 30 a 50 km (BRASIL, 2002). Na porção que corresponde ao baixo curso do rio Mamuaba, segundo Brito Neves et al. (2009), é possível verificar o afloramento da Formação Beberibe em toda a extensão do canal fluvial. Essa formação sedimentar difere-se da Formação Barreiras devido a composição mineralógica (ROSSETTI, 2012). Observando o mapa geológico da área (Figura 11), identificam-se basicamente quatro unidades, que são: a Formação Barreiras, a Formação Beberibe, Granitóide de quimismo e Sertânia sendo que essas duas últimas formações aparecem apenas em uma pequena porção da área estudada.

Figura 11 – Recorte do mapa geológico da área



Fonte: Elaboração Lavôr e Lima (2014).

A parte sul-sudeste da Bacia da Paraíba, entre Goiana e João Pessoa foi discriminada como Sub-bacia Alhandra por diversos autores, e deste modo fica situada entre as Sub-bacias Miriri (ao norte) e Olinda (ao o sul), com base em dados geológicos gerais regionais, e é nessa sub-bacia onde está localizada em sua totalidade a área de estudo.

Segundo Brito Neves et al., (2009) é possível verificar que a porção mais ocidental da Sub-bacia de Alhandra apresenta um comportamento regional amplo de alto estrutural (incluindo “altos” e “baixos” estruturais de segunda ordem), e mais ainda, que a cobertura da Formação Barreiras neste domínio havia sido exumada, em decorrência de sua posição neste contexto de soerguimento regional amplo e tardio. Com relação ao embasamento cristalino da Sub-bacia de Alhandra. Brito Neves et al., (2009) afirma que:

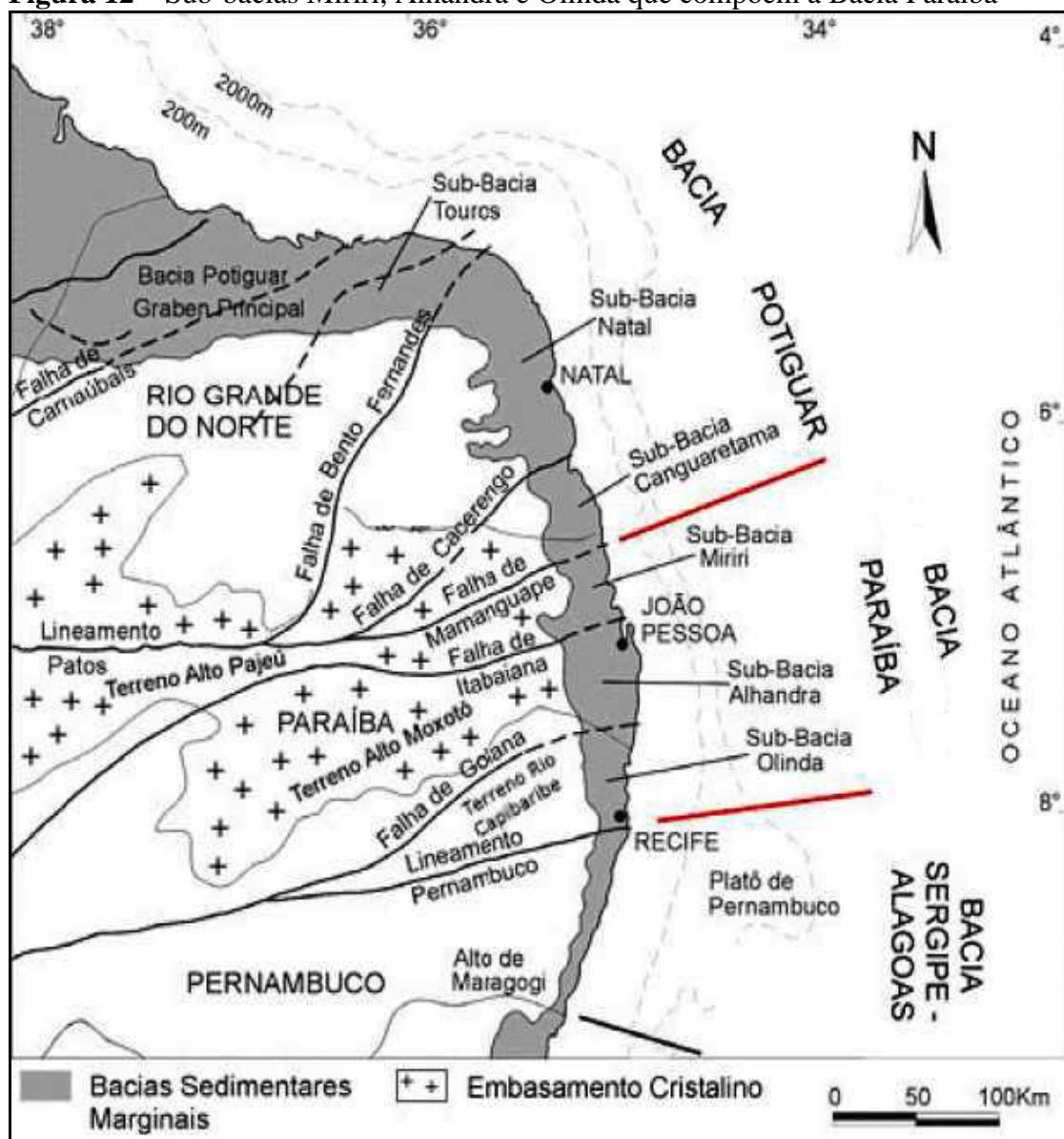
O substrato cristalino, desta porção mais a leste da Zona Transversal da Província Borborema, devemos destacar, na zona mais ao norte uma pequena parcela do Terreno Rio Grande do Norte (RGN, do Paleoproterozoico, ortognaisses e migmatitos), separado do Terreno Alto Pajeú (TAP, Eoneoproterozoico, ortognaisses e metagrauvas) pelo importante Lineamento Patos. Ao sul do TAP (no paralelo de Mari) há o contato por empurrão do Terreno alto Moxotó (TAM, do Paleoproterozoico, retrabalhado, ortognaisses, migmatitos, supracrustais aluminosas de alto grau) sobre o TAP. Ao sul da sub-bacia (paralelo de Juripiranga-Ibiranga) ocorre outro lineamento importante (Coxixola-Congo) que apresenta feições complexas (terminação fasciculada que tem sido utilizado para separar o TAM (para o norte) da faixa neoproterozoica (supracrustais diversas, granitos de arco) do Rio Capibaribe (RC, mais para o sul). Sobre todas estas unidades pré-cambrianas, que são terrenos diversos da Província Borborema, foram encontrados remanescentes mais e menos preservados da Unidade Pedostratigráfica Engenho Novo/“UPEN”, sempre em cotas próximas ao intervalo de 90 - 100 m (BRITO NEVES et al., 2009).

Conforme Furrier, Araújo e Meneses (2006), esses terrenos são delimitados por grandes lineamentos e zonas de cisalhamento com direção predominantemente leste-oeste. Provavelmente, essas estruturas estendem-se sob a Formação Barreiras e sob os sedimentos da Bacia Paraíba, adentrando pela margem continental adjacente.

A Bacia Paraíba ocupa o litoral norte do Estado de Pernambuco, estendesse desde a cidade de Recife, onde é limitada pelo Lineamento Pernambuco, até o vale do rio Camaratuba, ao norte de João Pessoa, limitado pela Falha de Pirpirituba (Mamanguape), (Figura 12).

Pode-se descrever a estrutura da Bacia Paraíba como um homoclinal com mergulho suave em direção ao mar, o qual é subdividido pelas falhas transversais de Goiana e Itabaiana. A largura média da faixa sedimentar é de aproximadamente 25 km e sua espessura máxima pode atingir até 400 m (MARINHO, 2011).

Figura 12 – Sub-bacias Miriri, Alhandra e Olinda que compõem a Bacia Paraíba



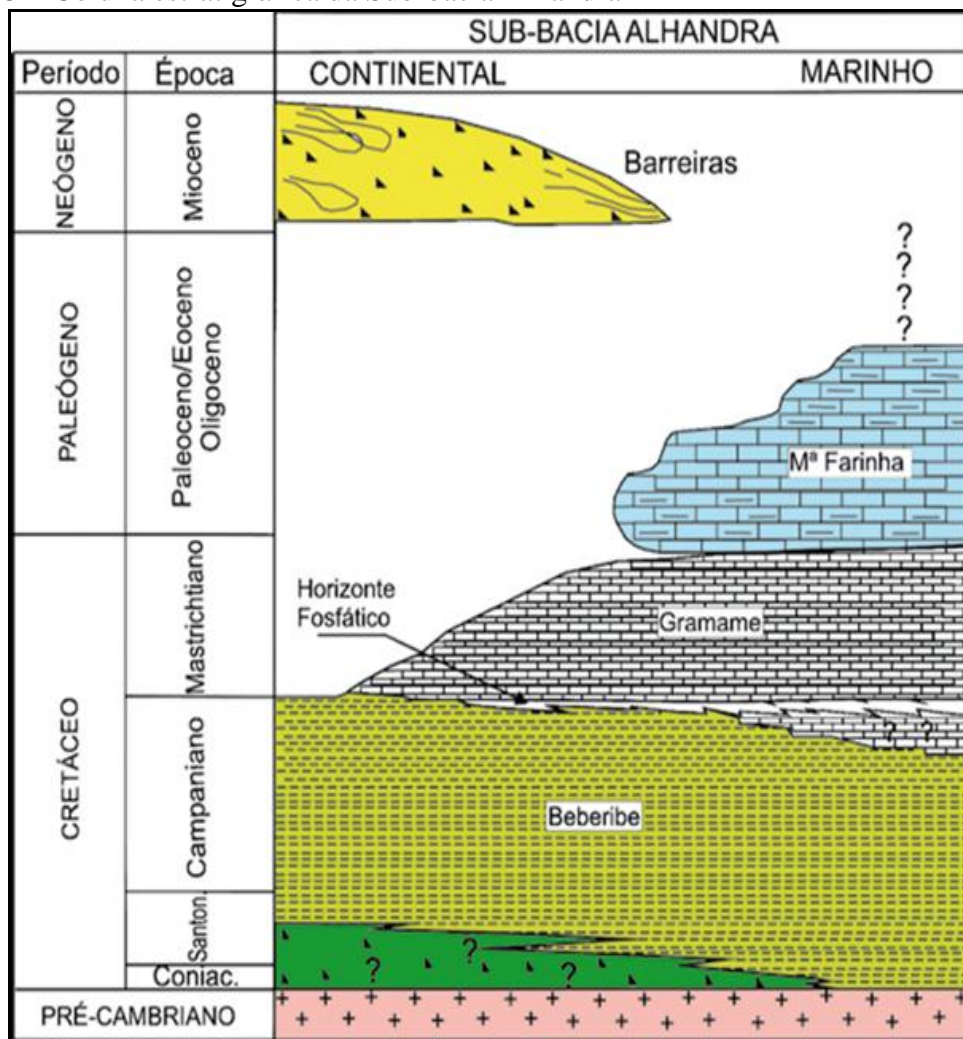
Fonte: Adaptado de Barbosa (2004).

A Bacia Paraíba, é preenchida em sua totalidade por sedimentos de fácies continentais e também marinhas, agrupadas sob a denominação de Grupo Paraíba, que, por sua vez, é subdividido em três formações litoestratigráficas: a Beberibe, a Gramame e a Maria Farinha (BRASIL, 2002). Capeando o Grupo Paraíba, porém não fazendo parte dele, está a Formação Barreiras. Conforme Almeida e Carneiro (2004), a área emersa da Bacia Paraíba faz parte, em seu trecho norte, de soerguimento do embasamento da última ligação continental com a África.

Por conta de algumas falhas transversais presentes na Bacia Paraíba, denominadas respectivamente Falha de Goiana e Falha de Itabaiana, Como dito anteriormente, que foram

ativadas no Proterozoico, ela vem a ser subdividida em outras três sub-bacias, que são as Sub-bacias de Olinda, Alhandra e Miriri, como pode ser observado na (Figura 12) apresentada a cima, estando a área selecionada para o estudo, localizada na Sub-bacia Alhandra, como já supracitado. Barbosa et al (2004) estabeleceram, através de estudos pormenorizados a coluna estratigráfica da Sub-bacia Alhandra. (Figura 13).

Figura 13 – Coluna estratigráfica da Sub-bacia Alhandra



Fonte: Adaptado de Barbosa et al. (2004).

8.3.1 Formação Beberibe/Itamaracá

Essa denominação foi utilizada pela primeira vez por Kegel em 1957 para indicar o afloramento fossilífero das camadas microclásticas que ocorrem no vale do rio Beberibe, a Formação Beberibe engloba atualmente toda a sequência clástica basal do Grupo Paraíba, sendo referida como Beberibe/Itamaracá. Essa formação trata-se, de uma sequência

fundamentalmente arenosa, com uma espessura média de 200m, constituída de arenitos friáveis, cinzentos a cremes, mal selecionados, com componente argiloso (BRASIL, 2002).

Na base da Formação Beberibe podem ocorrer leitos conglomeráticos e intercalações de níveis argilosos, enquanto que, no topo, predominam os arenitos médios a finos, nos quais se intercalam camadas siltico-argilosas com restos fossilíferos, essa porção superior da Formação Beberibe é constituída de arenitos quartzosos, compactos e carbonáticos, apresentando espessura máxima em torno de 280 m (BRASIL, 2002). Em estudos realizados em fósseis das camadas sedimentares localizadas no vale do rio Beberibe, definiu uma idade santoniana-campaniana, podendo estender-se até o Maastrichtiano. A Formação Beberibe é recoberta concordantemente pela Formação Gramame.

Furrier (2007); Brito Neves et al., (2009) e Marinho (2011) destacam muito bem que as Formações Beberibe e Barreiras, quando expostas em superfície, mostram-se difíceis de serem distinguidas causando grandes dificuldades para serem mapeadas, pois, além de os processos genéticos serem similares, os sedimentos apresentam grande semelhança granulométrica e textural, com grãos subangulosos a subarredondados e seleção variando de moderada a fraca.

Segundo Rossetti (2012) a Formação sedimentar Beberibe difere-se da Formação Barreiras principalmente devido a composição mineralógica. Complementando Alheiros et al., (1993) afirma que confrontando mineralologicamente a Formação Beberibe e a Formação Barreiras, tem-se que a primeira é mais quartzosa (>95% de quartzo), raramente feldspática e, com certa constância, observam-se grãos carbonáticos, enquanto a Formação Barreiras apresenta composição média de 85% de quartzo, com até 15% de feldspatos e ausência de grãos carbonáticos.

Para Petri e Fúlfaro (1988) a Formação Beberibe é assenta de forma discordante sobre o embasamento cristalino pré-cambriano. Aflora em grande extensão, ocupando grande parte da borda oeste da faixa sedimentar costeira, isto é, quase todos os planaltos por onde corre a estrada central de Recife-João Pessoa, formando chapadas a oeste dessa estrada.

Na base da Formação Beberibe depositou-se uma camada argilosa, enquanto rios procedentes do interior transportavam para o litoral material mais grosso, areia e seixos, formando uma grande planície aluvial. Sendo assim pode-se concluir que a Formação Beberibe é de origem fluvial ou estuarina; na planície aluvial ocorreriam lagunas onde se depositavam siltitos. Sendo esse ambiente caracterizado por águas muito rasas, com salinidade bem reduzida. Seria lagoa mais ou menos fechada, de água salobra; o mar, portanto, deveria estar próximo (BARBOSA, 2010).

8.3.2 Formação Gramame

Segundo Brasil (2002) a Formação Gramame abrange um pacote sedimentar com até 55m de espessura formado por calcários argilosos cinzentos de fácies marinha plena, com determinadas intercalações finas de argila, geralmente bioturbadas, e camadas de margas e argilas mais puras.

De acordo com Mabeoone e Alheiros (1991*apud* BRASIL, 2002) a Formação Gramame pode ser subdividida em três fácies principais: uma fácies basal, formada por calcarenitos e calcários arenosos, muito fossilíferos, que se interdigita com uma fácies média formada por fosforitos, sendo recobertas, no topo, por calcários biomicríticos argilosos, com uma fácies supra-mesolitoral, uma fosfática e uma marinha plena.

A Formação Gramame é uma unidade regressiva sobrejacente (Formação Maria Farinha), que pode chegar a aflorar sotoposta a Formação Barreiras apenas em alguns pontos (ao longo da beira-mar). As fácies calcárias da Formação Gramame são sempre muito homogêneas, creme a cinza, com calcários margosos com finos filmes de argila (BRITO NEVES et al., 2009).

O início da Formação Gramame é caracterizado por um horizonte de coquilha fosfática passando, logo acima, para arenito bem selecionado, extremamente calcífero; o teor de calcário pode chegar a ultrapassar 50% dos elementos da rocha. Esta litofácies arenosa passa, acima, para uma litofácies calcária, caracterizada por relativa homogeneidade. Trata-se geralmente de calcários margosos, cuja estratificação fina é ressaltada por delgadas películas de argila. Possui uma coloração acinzentada, passando a creme por intemperismo (PETRI; FÚLFARO, 1988).

As fácies basais são caracterizadas tanto por calcarenitos, como por calcários dolomíticos arenosos, de coloração creme, biomicríticos e mostram muitos fósseis, como conchas espessas fragmentadas. A fácies fosfática apresenta-se como arenitos, calcários argilosos e fosfatizados, também bastante fossilíferos, porém com formas de tamanhos menores (BRASIL, 2002).

A Formação Gramame, tem idade determinada como Maastrichtiano, e mostra um caráter transgressivo sobre os arenitos Beberibe e, no topo, passa sem interrupção para os calcários da Formação Maria Farinha (BRASIL, 2002). Portanto as fácies calcárias típicas dessa formação sugere uma origem em ambiente nerítico com fundo lodoso, relativamente distante da costa. Representa a fase de maior extensão de transgressão marinha; em consequência, a fauna é bastante abundante e diversificada.

8.3.3 Formação Maria Farinha

A Formação Maria Farinha é constituída de calcários clásticos, finos a grossos e margas calcárias do ciclo de regressão, com interessante conteúdo faunístico sendo também riquíssima em ichnofósseis, aflora muito pouco em toda Sub-bacia de Alhandra, mais precisamente, ao sul da Praia de Jacumã Praias de Tabatinga e adjacências (BRITO NEVES et al., 2009).

O capeamento da Formação Gramame pela Formação Maria Farinha é restrito a uma faixa estreita, litorânea, entre Recife e o vale do rio Goiana. A espessura da Formação Maria Farinha é de cerca de 30 metros, podendo apresentar ocasional espessamento em direção a plataforma continental.

Essa formação, segundo Petri e Fúlfaro (1988), é constituída basicamente de quatro tipos de sedimentos, sucedendo-se na vertical. A partir da base ocorrem calcários litográficos a sublitográficos.

Essa formação encontra-se no período terciário e, seu conteúdo fossilífero é típico do paleoceno em quase todos os seus leitos sedimentares. A sequência litológica indica um ambiente marinho regressivo. Dados sísmicos indicam que a formação Maria Farinha ocorre também na plataforma continental (FEIJÓ, 1994).

8.3.4 Formação Barreiras

Anteriormente chamado de Grupo Barreiras, hoje é denominado de Formação Barreiras, após estudos mais detalhados. Estende-se pela faixa costeira, paralelamente ao litoral comumente, recobertos por os sedimentos recentes. A Formação Barreiras chamou a atenção dos navegadores portugueses que chegaram à costa brasileira em 1500, por apresentar uma geomorfologia muito peculiar (MARINHO, 2011).

A Formação apresenta estratificação quase que totalmente horizontais, constituídas por sedimentos de diversas naturezas, desde areias até argilas de coloração das mais variadas, incluindo por vezes leitos de seixos rolados. Em camadas inferiores são encontradas argilas de coloração arroxeadas e cinzenta, e sob as camadas superiores, comumente, verificasse presença de concreções de ferro.

Essa Formação é a unidade estratigráfica mais contínua da margem continental do Brasil e tem sido associada comumente aos Baixos Planaltos Costeiros, uma feição geomorfológica aparentemente não deformada. No entanto, algumas pesquisas têm

demonstrado com clareza que essa unidade exhibe deformação em todas as escalas de observação como pode ser observado no trabalho de Marinho (2011).

Nota-se progressos no conhecimento dessa unidade devido ao crescente número de dados de superfície como novos sensores remotos, e dados de subsuperfície como perfis litológicos de poços, levantamentos aeromagnéticos, gravimétricos e sondagens elétricas (BEZERRA, 2011).

Em relação à origem da Formação Barreiras existem várias teorias, e esse tema ainda é caso de discussão na comunidade científica dividindo opiniões entre diversos pesquisadores. Segundo Alheiros et al. (1988), a deposição dos sedimentos da Formação Barreiras se deu fundamentalmente através da deposição de rios em sistemas entrelaçados desenvolvidos sobre leques aluviais, ele acredita que essa Formação representa a evolução de um sistema fluvial construído em fortes gradientes e sob clima predominantemente árido, sujeito a oscilações. No entanto Para Gopinath et al. (1993), as partículas sedimentares que fazem parte da Formação Barreiras têm origem nos produtos resultantes do forte intemperismo sobre o embasamento cristalino, localizado no interior do continente, no estado da Paraíba, esse embasamento arqueado é composto pelas rochas cristalinas do Planalto da Borborema. Já Arai (2006) coloca que a Formação Barreiras possui forte influência das oscilações marinhas no seu processo de deposição.

De acordo Brito Neves et al. (2009) a Formação Barreiras poderia ter sido depositado apenas nas faixas mais orientais e mais rebaixadas, tendo como áreas-fonte as porções elevadas dos depósitos cretáceos.

A ausência de fósseis na Formação Barreiras impede uma datação precisa, de modo que os autores também divergem entre si. Na maioria das vezes, atribui-se a idade dessa Formação a um intervalo de sedimentação entre o Paleógeno (Oligoceno) e o Neógeno, chegando até o Pleistoceno (MARINHO, 2011).

8.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Com relação aos aspectos geomorfológicos o estado da Paraíba pode ser subdividido, partindo desde o litoral e seguindo no sentido do interior, no sentido leste – oeste, nas seguintes unidades geomorfológicas: planícies litorâneas e fluviais, baixos planaltos costeiros ou tabuleiros, depressão sublitorânea, planalto da Borborema, depressão do Curimataú e a depressão Sertaneja.

Quanto à Geomorfologia local, predominam na região as estruturas dômicas características da área em análise e os Baixos Planaltos Costeiros. Uma das estruturas mais marcantes e característica do relevo local é o Domo da Embratel, que se encontra mais ou menos no centro da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000, e é um divisor topográfico importantíssimo separando as redes de drenagem no alto curso dos rios Mamuaba e Gramame.

Em relação à morfotectônica regional, com o auxílio da carta topográfica, do mapa geológico do estado da Paraíba e dos resultados e mapeamentos realizados por Brito-Neves et al. (2009) foi possível inferir na área de estudo e adjacências, uma disposição marcante de altos e baixos estruturais. Sobre a Formação Barreiras são desenvolvidos os baixos tabuleiros, geralmente com topos aplainados, ora soerguidos, ora rebaixados ou basculados por evidente atuação da tectônica recente (FURRIER et. al, 2006; FURRIER, 2007). Esses tabuleiros, ora soerguido, rebaixados e basculados deram origem ao sistema de grábens e horsts do rio Mamuaba de direção NNE-SSW, seguindo para a confluência Mamuaba-Gramame (BRITO-NEVES et al., 2009).

8.4.1. Baixos Planaltos Costeiros ou Tabuleiros

De acordo com os estudos realizados pela Embrapa (1994) os Baixos Planaltos Costeiros são superfícies de idade terciárias, que seguem todo o litoral do Nordeste do Brasil, em extensão aproximada de 8,42 milhões de hectares. Eles estão esculpidos em grande parte sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras, apresentando como características uma topografia plana a suavemente ondulada, material sedimentar e de baixa altitude, com declividade média inferior a 10%, os solos são profundos, mas apresentam baixa fertilidade natural devido à lixiviação aliada à erosão.

Guerra e Guerra (1997) definem Tabuleiro como sendo uma forma topográfica de terreno que se assemelha a planaltos, terminando geralmente de forma abrupta. No nordeste brasileiro os tabuleiros aparecem geralmente em toda a costa. Paisagem de topografia plana, sedimentar e de baixa altitude.

Para Furrier (2007) os Tabuleiros são como uma ampla superfície plana ou suavemente ondulada, com altitudes que variam entre 10 e 200 metros e com morfologia afetada pelos cursos fluviais que o cortam. O autor relaciona a morfologia atual da área de estudo com esforços tectônicos regionais distencionais, gerados pelo afastamento da Plataforma Sul-Americana em relação ao continente africano.

O relevo tubuliforme é caracterizado por uma sequência de camadas sedimentares horizontais ou sub-horizontais, associadas ou não a derrames basálticos intercalados. Embora elaborados pelos mecanismos morfoclimáticos, reflete diretamente a participação da estrutura (CASSETI, 2005). O presente autor ainda afirma que esse tipo de relevo tende a ocorrer com maior frequência no interior de bacias sedimentares, por causa da disposição horizontal dos estratos. Quando submetida a processos de pediplanação, podem estar associadas a concreções ferruginosas, com vegetação xeromórfica, provavelmente ligadas às condições ambientais áridas ou semi-áridas que deram origem à superfície erosiva.

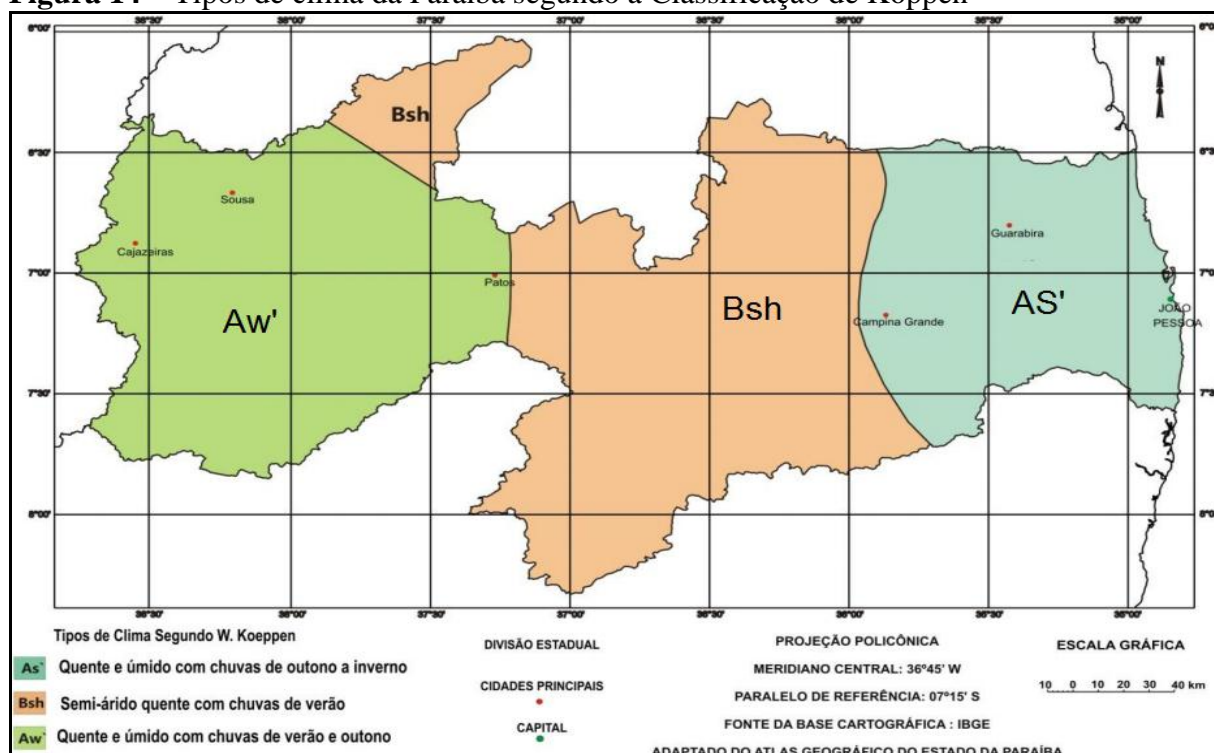
8.5 CLIMA E VEGETAÇÃO

As características climáticas de uma região são o resultado de condições meteorológicas que são típicas, no decorrer de uma série de anos, e são governadas pela radiação solar no topo da atmosfera, pela composição da atmosfera e pela estrutura da superfície terrestre. Na Paraíba essa variação climática está ligada diretamente com a localização geográfica, pois a área está bem próxima ao Equador, essa pequena distância é que determina a definição do clima, cujas principais características são as elevadas temperaturas, pluviosidade e umidade (MARINHO, 2011).

O clima atuante na área de estudo é o Tropical Quente Úmido do tipo As' (Figura 4), de acordo com a classificação de Köppen. As médias das temperaturas anuais situam-se em torno de 25°C, apresentando índices pluviométricos que oscilam entre 1500 e 1700 mm, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano sendo mais intensas nos meses de inverno e sem apresentar meses totalmente secos (MELO, 2003).

A vegetação contida na área em análise é predominantemente do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de Floresta Subcaducifólia e Cerrado/Floresta. De acordo com a análise das informações contidas em Brasil (1972), há ocorrência de vegetação em fase de cerrado arbóreo-arbustivo, com algumas ocorrências de formação de transição entre cerrados e florestas e pequenos trechos de formação florestal subperenifólia e perenifólia de várzea e subcaducifólia, que com o estudo de campo em loco, foi constatado que essa vegetação atualmente se encontra praticamente toda devastada.

Figura 14 – Tipos de clima da Paraíba segundo a Classificação de Köppen



Fonte: Paraíba (1985).

8.6 SOLO DA ÁREA DE ESTUDO

Segundo Guerra e Guerra (1997) solo é a camada superficial de terra arável possuidora de vida microbiana. Algumas vezes o solo é espesso, outras vezes pode ser reduzido a uma delgada película ou mesmo pode deixar de existir. A compreensão das propriedades dos solos é de grande relevância para o uso e ocupação adequado desse recurso fundamental ao desenvolvimento social e econômico. Em características gerais os solos dos tabuleiros costeiros, de modo geral, são profundos e de baixa fertilidade natural (EMBRAPA, 2005).

Por conta da grande escala utilizada na área estudada, não há disposição de muitos dados que classifiquem de maneira detalhada os tipos de solos ocorrentes. Por essa razão com referência a área de estudo, a consulta ao Levantamento Exploratório dos Solos do Estado da Paraíba (EMBRAPA, 1997) e Classes de Capacidade de Uso das Terras, disponibilizado pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (Aesa), possibilitou uma visão, em plano cartográfico, das principais características dos solos da região.

Através do reconhecimento dos solos da carta topográfica Rio Mamuaba na escala de 1:25.000 os tipos de solos predominantes da área de estudo podem ser descritos como Podzólico Vermelho Amarelo, Solos Aluviais, Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico e

Podzol Hidromórfico. A seguir serão indicadas as principais características de cada um deles, de acordo com a Embrapa (2006);

- **Podzólico Vermelho Amarelo:** São solos minerais, apresentando horizonte B textural, não hidromórficos, geralmente com argila de atividade baixa, normalmente profundos e são bem a moderadamente drenados. A textura do horizonte A é arenosa ou média e em alguns casos argilosa, enquanto o horizonte B textural é franco-arenoso ou mais fina, ocorrendo inclusive solos com mudança textural abrupta.
- **Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico:** Esta classe também compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos e com argila de atividade baixa. Diferem da classe Podzólico Vermelho Amarelo, fundamentalmente, por apresentar, além de média a alta saturação de bases (V%), baixa saturação com alumínio, menor acidez, bem como conteúdo mineralógico que encerra, comumente, quantidade significativa de minerais primários facilmente decomponíveis, os quais constituem fontes de nutrientes para as plantas.
- **Solos Aluviais:** Essa classe é representada pelos solos rudimentares, pouco evoluídos, formados em depósitos aluviais recentes. Por definição, desenvolvem-se apenas nas planícies aluvionais, em depósitos recentes de origem fluvial, marinho ou lacustre. Podem variar muito, em suas propriedades, a curtas distâncias, em função das diferentes origens.
- **Podzol Hidromórfico:** Compreende solos com nítida diferenciação de horizontes. São fortemente ácidos, com pH e KCl geralmente inferior a 4,0 e de muito baixa fertilidade natural. Ocorrem em áreas de relevo predominantemente plano e suave ondulado. Ocorre geralmente ao longo das Planícies Litorâneas derivados de sedimentos areno-quartzosos marinhos referidos ao Holoceno. Se desenvolveram em áreas mal ou muito mal drenadas, com excesso de água permanente ou temporária e são de grande importância, em função da extensão geográfica que ocupam.

9 OCUPAÇÃO DA REGIÃO E PRINCIPAIS ÁREAS DE RISCO GEOMORFOLÓGICO FRENTE À LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Através das observações realizadas em campo, foi possível a caracterização de diversos aspectos ambientais da área frente à Lei nº 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Esta Lei estabelece normas gerais referentes a proteção da vegetação, como áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal.

Entre os inúmeros aspectos observados, o que está mais expresso na paisagem é o avanço descontrolado da cultura da cana-de-açúcar (Figura 15). Na Paraíba, a modernização do setor canavieiro, via Proálcool, deu início a um intenso processo de substituição da vegetação nativa original pela monocultura da cana-de-açúcar, fato motivado por grandes incentivos fiscais oferecidos pelo governo federal.

Figura 15 – Monocultura de cana-de-açúcar no município de Pedras de Fogo



Nota: Foto retirada de cima do Domo da Embratel. Observar a extensa produção de cana-de-açúcar e o solo arenoso e sem cobertura vegetal ao fundo da imagem.

Fonte: Elaboração própria (2014).

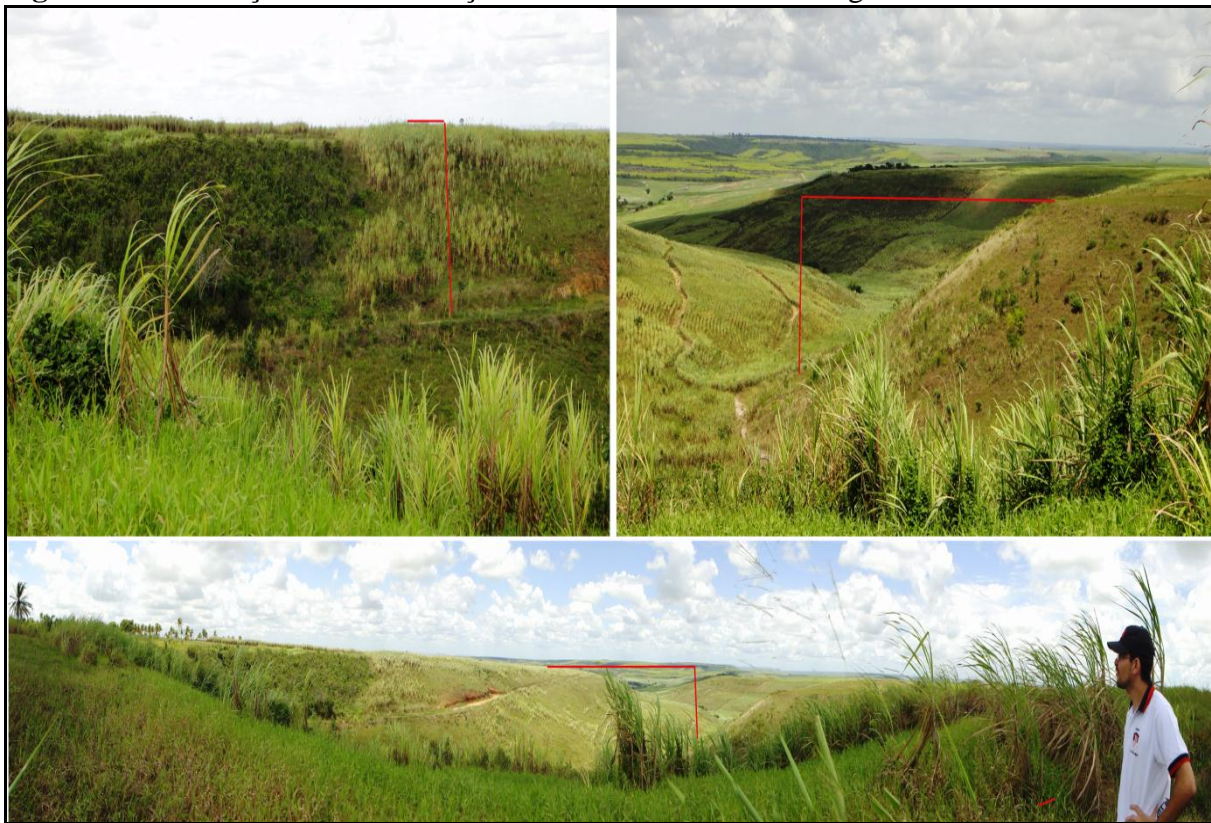
Em toda a região abarcada pela carta topográfica Rio Mamuaba, é possível observar claramente na paisagem os efeitos da ação empreendida pela atividade canavieira que deixaram profundas marcas no espaço agrário paraibano, assim como, em outros estados do Brasil, mesmo após o fim do Proálcool e, de acordo com Freitas (2012), a cana-de-açúcar ainda continua sendo produzida em larga escala no Litoral Paraibano e, na atualidade, divide

o uso do solo regional com outras culturas temporárias e permanentes. Com relação aos incentivos fiscais oferecidos aos produtores canavieiros, Moreira e Targino (1997) argumentam:

O Programa financiava até 80% do valor do investimento fixo, no caso de destilarias que utilizassem a cana-de-açúcar como matéria-prima. Os encargos financeiros englobavam juros de 4% ao ano para as destilarias anexas e de 3% para as autônomas na área da Sudene/Sudam e uma correção monetária equivalente a 40% da variação das Obrigações Reajustáveis do Tesouro Nacional (ORTN). Em relação ao setor agrícola, havia os financiamentos de investimento para fundação ou ampliação de lavouras (preparo do solo, plantio e tratos culturais até a primeira safra) e financiamento de custeio para despesas relativas às socas ou às ressocas (MOREIRA e TARGINO, 1997).

As observações que foram realizadas em campo também constatou, em muitas áreas, a ocupação indevida de vertentes com forte declividade, principalmente para fins agrícolas, mesmo sabendo que o Código Florestal Lei nº 12.651/2012 proíbe a derrubada de floresta sem um regime de utilização racional que vise a rendimentos permanentes no intervalo de declividade entre 47 – 100% (Figura 16).

Figura 16 – Plantação de cana-de-açúcar em áreas de vertentes íngremes



Nota: Observar a plantação da monocultura de cana-de-açúcar em vertentes íngremes por onde passa o alto curso do rio Vermelho além de áreas de vertente sem cobertura vegetal.

Fonte: Elaboração própria (2014).

Outro aspecto observado foi a retirada de matas ciliares e antropização de leitos fluviais provocados principalmente por atividades canavieiras, realizadas pela usina GIASA que se encontra no local, prejudicando entre outras coisas a saúde dos rios e dos solos da área, fatos esses que afetam o equilíbrio físico-natural da região (Figura 17).

Figura 17 – a) Úsina canavieira, b) alto curso do rio Gramame



Nota: (A) Úsina canavieira localizada as margens da PB 030 próximo ao alto curso do rio Gramame; (B) . processos de eutrofização do rio Gramame provocado provavelmente pelo recebimento de resíduos agroindustriais.

Fonte: Elaboração própria (2014).

A análise do meio físico e de sua ocupação seja ela de qualquer natureza mostra-se sem duvidas como uma ferramenta importante no que diz respeito ao planejamento e gestão de territórios. Pois, a partir dela, pode-se delinear um mapeamento preciso de pontos que apresentam necessidade de intervenção determinando, com isso, áreas de risco a ocupação e áreas degradadas. Todas as características apresentadas nas figuras acima podem ser entendidas como elementos causadores de risco geomorfológico, lembrando que a ocupação indevida aqui mencionada está ligada principalmente a ocupação agrícola.

Dessa forma, foram observadas na pesquisa várias irregularidades que infringem alguns itens da Lei nº 12.651/2012, notadamente a Seção I do Capítulo II, que trata da delimitação das áreas de preservação permanente. Segundo o artigo 4º dessa lei:

Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I – as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: [...]

II – as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de: [...]

III – as áreas no entorno dos reservatórios d’água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d’água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; [...]

V – as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive; [...]

IX – no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação; [...]

§ 1º Não será exigida Área de Preservação Permanente no entorno de reservatórios artificiais de água que não decorram de barramento ou represamento de cursos d'água naturais. (BRASIL, 2012).

Sendo assim, tem-se, como principal exemplo de susceptibilidade e vulnerabilidade ambiental na região, as encostas das bacias hidrográficas dos rios Mamuaba e Gramame que dispõe de vertentes íngremes e fortemente ocupadas pela cultura canavieira, o alto curso do rio Gramame recebe ainda esgotos industriais, resíduos agroindustriais, defensivos químicos das culturas irrigadas acelerando os processos de eutrofização.

10 ANÁLISE DA MORFOLOGIA E DA REDE DE DRENAGEM DA ÁREA

Na área compreendida pela carta topográfica pesquisada onde a bacia do rio Mamuaba e o alto curso da bacia do rio Gramame estão inseridas se encontram partes dos municípios de Santa Rita, Pedras de Fogo e Alhandra, todos no estado da Paraíba, e caracteriza-se de modo geral por ser uma área de altimetria relativamente baixa, se comparada a região interiorana do Estado, mas se for comparada com as áreas adjacentes, ela se destaca regionalmente, pois apresenta altitudes que chegam até a 213 m na porção que corresponde ao Domo da Embratel.

Nas bacias hidrográficas dos rios Mamuaba e Gramame, estão visivelmente presentes em seus afluentes os padrões de drenagem sub-dendrítico, treliça e radial. Este último é definido pela combinação dos afluentes do rio Gramame e Mamuaba que ocorre ao sul da carta, formado pelo arranjo dômico característico, o que corrobora a ideia de grande influência dessa estrutura na configuração da drenagem local. Segundo Brito Neves et al. (2009), esta morfoestrutura e suas imediações devem ser apontadas como áreas de grande potencial de recarga do Aquífero Beberibe, de forma que é a grande barragem supridora do abastecimento d'água de João Pessoa (sistema Mamuaba-Gramame, da CAGEPA) e tem sido a grande beneficiária e acumuladora dessas águas, que são descarregadas na rede fluvial.

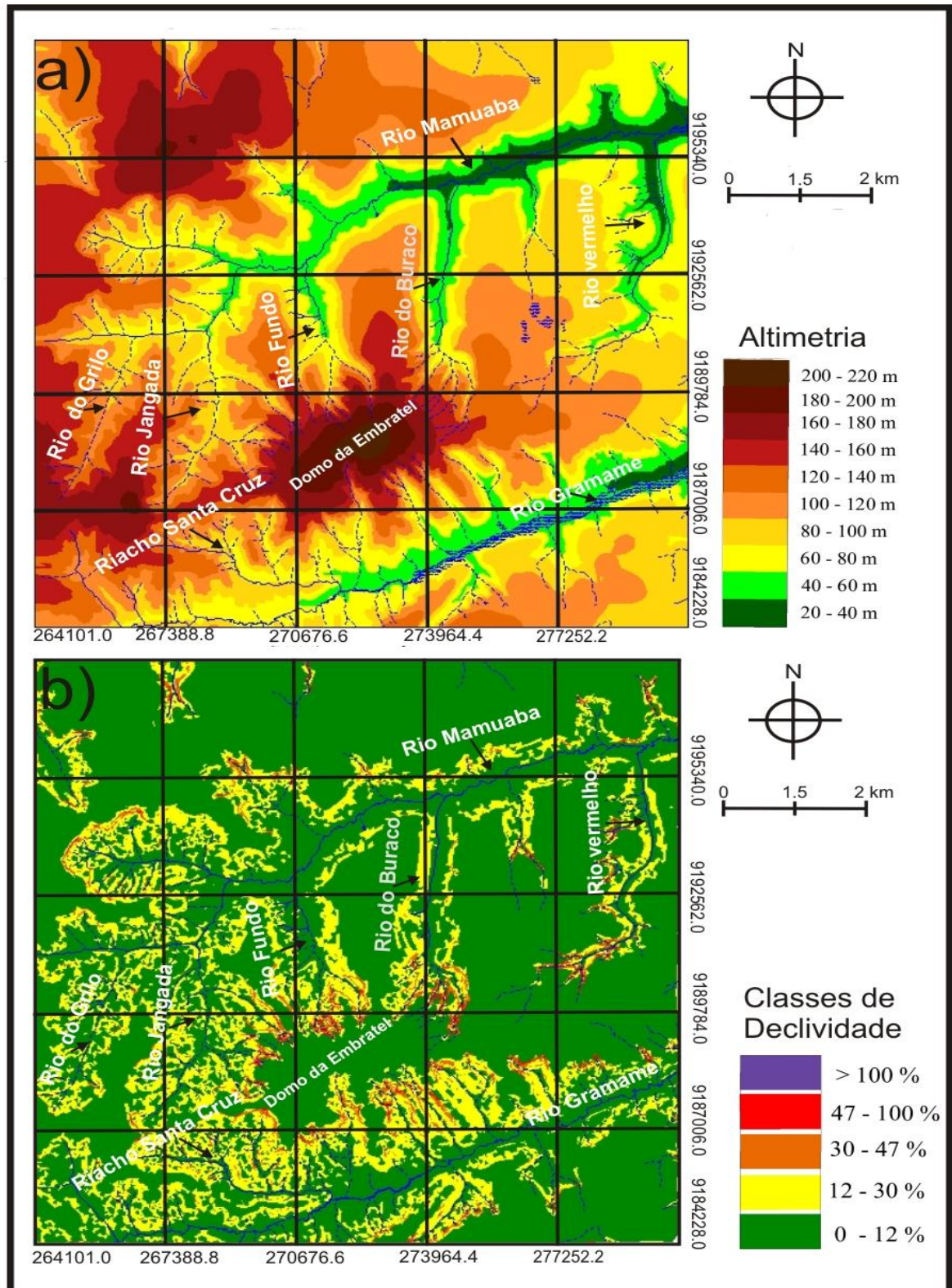
10.1 HIPSOMETRIA E DECLIVIDADE

A carta de hipsometria indica os níveis de altitude de determinada região, ligando os pontos de altitude semelhante, transformando a representação do terreno original em faixas de classes temáticas, que identificam em que altitude estão dispostos os diversos compartimentos que compõem a área, já a carta de declividade ou clinográfica aponta a porcentagem da inclinação dos terrenos em determinada área. Essa carta é de fundamental importância principalmente para demonstrar ocupações ou usos irregulares em declividades inapropriadas.

Os produtos cartográficos de declividade e altimetria (Figura 18a e 18b) possibilitaram um entendimento detalhado da geomorfologia da área, mostrando duas características peculiares principais na bacia do rio Mamuaba: o acentuado desnível altimétrico entre os Baixos Planaltos Costeiros localizados ao sul da bacia do rio Mamuaba, cujas altitudes alcançam até 213 m, e os localizados ao norte da bacia, onde as altitudes máximas são de 130 m, perfazendo, portanto, uma diferença de 83 m entre os dois tabuleiros que confinam o rio Mamuaba. Essa acentuada diferença entre os Baixos Planaltos Costeiros corrobora a ideia de

reativações pós-cretáceas na área de intensidades distintas, já que os tabuleiros possuem a mesma litologia.

Figura 18 – Cartas de altimetria (a) e de declividade (b), referentes à carta Rio Mamuaba



Fonte: Elaboração própria (2013).

Devido à diferença altimétrica entre os tabuleiros que confinam o canal do rio Mamuaba, é possível observar uma rede de drenagem extremamente assimétrica, com os rios oriundos dos tabuleiros localizados ao sul, mais extensos e entalhados, enquanto na porção situada ao norte, encontram-se rios pouco entalhados e pouco expressivos em extensão.

Para Christofolletti (2007), a confecção da carta de declividade, associada à rede de drenagem fluvial, são instrumentos valiosos para o planejamento do solo. A elaboração da carta clinográfica da cata topográfica Rio Mamuaba seguiu os critérios de classificação propostos por Herz e De Biase (1989) (Tabela 1), que vincularam essas classes a limites usados internacionalmente, bem como a pesquisas nacionais e leis em vigência no Brasil.

Tabela 1 – Classes de declividade

Percentualidade	Graus
< 12%	< 7,25°
12% – 30%	7,25° – 17°
30% – 47%	17° – 25°
47% – 100%	25° – 45°
> 100%	> 45°

Fonte: Herz e De Biasi (1989).

Essas classes foram especificadas da seguinte forma:

- <12%: Faixa que define o limite máximo para o emprego de mecanização na agricultura.
- 12 – 30%: A Lei Federal nº 6.766/1979 limita em 30% de declividade a urbanização sem restrições.
- 30 – 47%: A Lei Federal nº 4.771/1965 (Código Florestal) limita em 47% de declividade o corte raso da vegetação.
- 47 – 100%: Nesse intervalo de declividade, o Código Florestal proíbe a derrubada de floresta sem um regime de utilização racional que vise a rendimentos permanentes.
- 100%: É considerada, pelo Código Florestal, área de preservação permanente, apenas sendo admitida a supressão total ou parcial da vegetação com prévia autorização do Poder Público Federal, quando for necessária a execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

Com o auxílio da carta clinográfica, e das observações de campo é possível mostrar com nitidez os limites norte e sul da bacia onde se observam declividades superiores na borda sul, variando com maior frequência valores entre 47% e 100%, nesse intervalo de declividade, o Código Florestal proíbe a derrubada de floresta sem um regime de utilização racional, sendo que esses limites não são respeitados na área em questão. Além disso, exibem com bastante clareza os elevados entalhamentos formados pelas redes de drenagem, dando destaque principalmente para os fortes entalhamentos apresentados pelos rios Fundo, Vermelho e do Buraco, cujas vertentes alcançam até 100% de declividade (Figura 19).

Figuras 19 – Vertentes do rio Vermelho com alto grau de declividade



Nota: Encosta com alto grau de declividade apresentada pelo rio Vermelho no seu alto curso cujas vertentes alcançam até 100% de declividade. Apesar da presença de vegetação rala na área, há ocorrência de movimento de massa constatado com a observação do sopé da vertente. Parte dessas vertentes está ocupada por monocultura de cana-de-açúcar.

Fonte: Elaboração própria (2014).

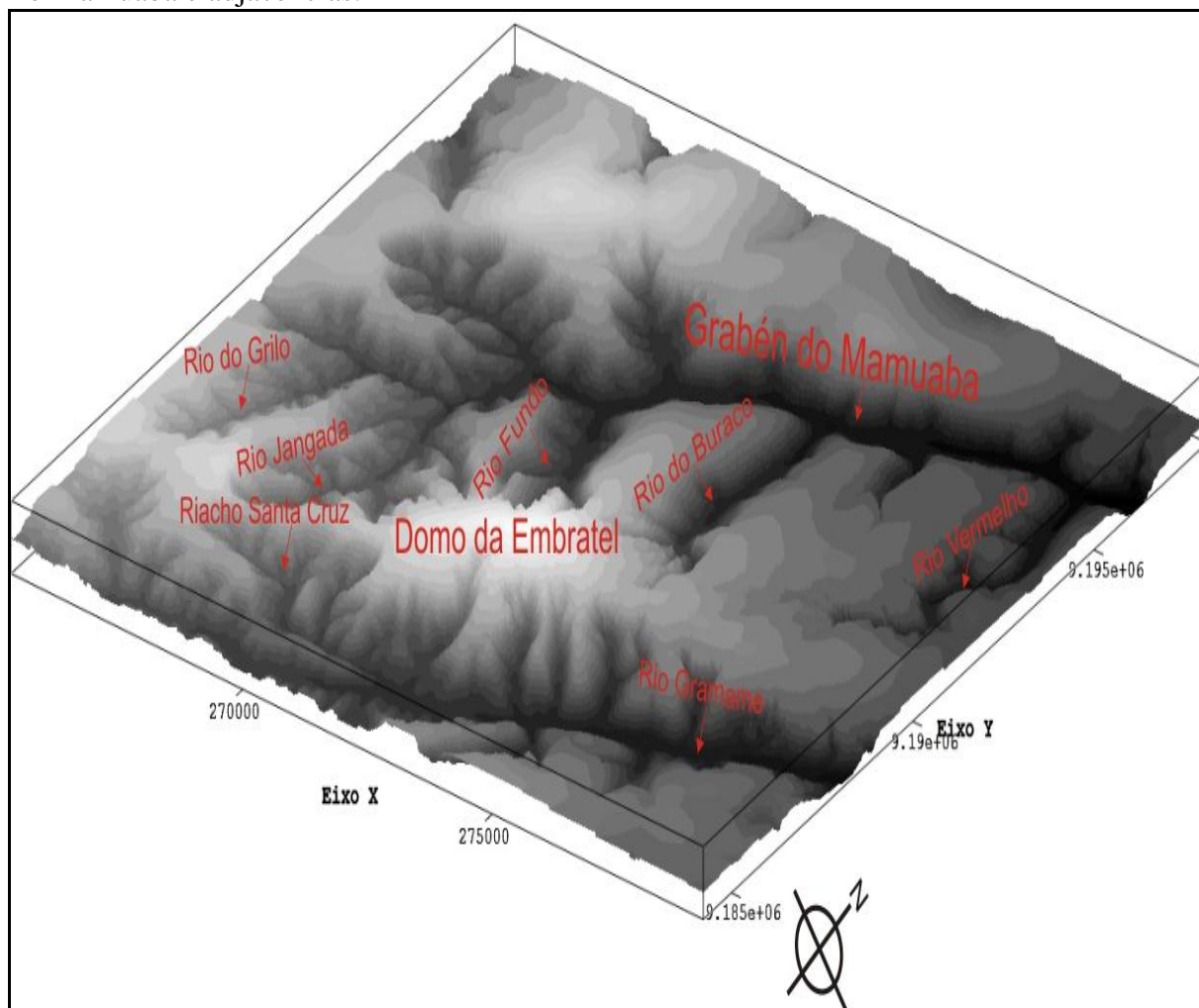
Na porção sul da carta topográfica Rio Mamuaba onde está situado o Domo da Embratel é possível observar as maiores declividades da área em análise, percebendo-se elevados entalhamentos com vertentes que alcançam até 100% de declividade, ou seja, 45 graus, tendo rios fortemente encaixados em seus respectivos vales. É importante ressaltar que a litologia no Domo da Embratel segundo Brito Neves et al. (2009) é igual as das áreas adjacentes.

10.2 MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT)

Para que as cartas temáticas hipsométrica e clinográfica fossem produzidas e então analisadas, fez-se necessária a utilização de modelos da superfície real em ambiente digital, que foram os Modelos Numéricos do Terreno (MNT), sem a utilização de tais modelos não seria viável o estudo de grandes extensões de área, tendo em vista que o trabalho de campo não fornece a visão geral sobre o objeto de estudo.

Com a geração do MDT é possível realizar uma análise com um bom nível de detalhamento de cunho qualitativo dos dados, pois uma das formas de visualização do MNT é através de uma imagem em níveis de cinza em 3D, onde os valores mais escuros correspondem aos pontos de cotas mais baixas e os tons de cinza mais claros os pontos de valor mais alto (Figura 20).

Figura 20 – Modelo em 3D mostrando a inclinação do relevo na área da bacia hidrográfica do rio Mamuaba e adjacências.



Fonte: Elaboração própria (2013).

A partir da análise e interpretação das cartas temáticas, e principalmente da imagem do MDT, foi possível ter uma percepção de uma estruturação marcante de altos e baixos estruturais ocasionados, segundo Furrier et al. (2006), por reativações tectônicas pós-cretáceas, responsáveis por esses soerguimentos e basculamentos de superfícies geomorfológicas, o que pode ter originado o sistema de grábens do rio Mamuaba.

O sistema de grábens especificado por Brito Neves et al. (2009) possui um sentido geral NNE-SSW em direção à confluência Mamuaba-Gramame. Ao sul está desenvolvido uma interessante estrutura circular com drenagem radial centrífuga, ou seja, as correntes fluviais são do tipo consequentes e se encontram dispostas em raio e divergem, a partir de um ponto elevado, cujo cume central está o ponto mais alto da área, assim como também da região, com 213 m.

Analisando o modelo 3D produzido observa-se, com muita nitidez, as nuances do relevo da área da carta topográfica Rio Mamuaba, com os fortes entalhes dos caudais de primeira ordem, principalmente na porção sul, além da acentuada assimetria da bacia com os afluentes da margem sul do rio Mamuaba muito mais avantajados e entalhados que os afluentes da margem norte como pode ser visto na (Figura 20) acima. Pode-se perceber, também, os patamares mais elevados e dissecados na porção sul que estão intimamente relacionados ao alto estrutural denominado de Domo da Embratel. Fica bastante evidente nesse modelo o forte controle estrutural exercido nas bacias Mamuaba e Gramame que implica diretamente na sua configuração e morfologia.

Algumas características da bacia hidrográfica do rio Mamuaba chamam a atenção como o forte entalhamento apresentado pelos afluentes do lado sul da bacia, ou seja, com processo de dissecação bastante acentuado; vales extremamente encaixados e intenso recuo nas cabeceiras de drenagem, atestado pelas declividades elevadas.

10.3 MORFOMETRIA FLUVIAL E PRINCIPAIS INDÍCIOS DE NEOTECTÔNICA NA ÁREA

A morfometria fluvial é o estudo das bacias hidrográficas com vista a uma análise linear, areal e hipsométrica, visando a compreensão dos aspectos quantitativos e qualitativos das bacias. A rede de drenagem por ser muito sensível a transmissão de qualquer energia no sistema desencadeadas por mudanças ambientais, torna-se o seguimento da paisagem mais vulnerável a qualquer tipo de deformação evidenciando esses processos em sua rede de drenagem, por isso que é tão importante a análise de anomalias em condições de assimetria,

retilidade, presença de cotovelos, inflexões, alinhamento de confluências e até mesmo condições de captura de drenagem, tanto na área da bacia quanto no entorno.

Os estudos relacionados com as drenagens sempre possuíram função relevante na geomorfologia, e a análise da rede hidrográfica, pois pode levar à compreensão e elucidação de numerosas questões relacionadas à tectônica e à configuração geomorfológica da área, pois os cursos d'água são responsáveis por processos morfogenéticos dos mais ativos na esculturação da paisagem terrestre.

A análise da hierarquia fluvial não pode ser aplicada às duas maiores bacias da região devido a elas não estarem completamente inseridas na área da carta topográfica Rio Mamuaba que são as bacias dos rios Mamuaba e Gramame. Devido a isso, se elegeu sub-bacias de grande porte para aplicação dessa análise. utilizou-se o sistema proposto por Strahler em 1952, o qual entende que os menores canais, sem tributários, são considerados como de primeira ordem; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem, e só recebem afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de primeira e segunda ordem, e assim sucessivamente (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As sub-bacias selecionadas foram as dos rios Vermelho, do Buraco, Fundo, Jangada e Santa Cruz, estando as quatro primeiras posicionadas no médio e alto curso do rio Mamuaba, e a última no alto curso do rio Gramame à retaguarda do litoral paraibano, sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras. Os afluentes dos rios Gramame e Mamuaba estudados nessa pesquisa possuem uma hierarquia fluvial de 3ª ordem, enquanto os demais canais que não foram denominados, mas que também fazem parte da área da carta topográfica Rio Mamuaba possuem canais de 1ª ou 2ª ordem sendo eles menos expressivos.

Para aplicação e análise das propriedades de drenagem é necessário, primordialmente, levarem-se em consideração os graus de integração e de continuidade, bem como na densidade, tropia, controle, sinuosidade, angularidade, ângulo de junção, e assimetria (HORTON, 1945; HOWARD, 1967 segundo ANDRADES FILHO, 2010), como se pode verificar na (Figura 3, p. 29).

As propriedades relacionadas com grau de integração, continuidade e densidade refletem, basicamente, a permeabilidade e nível de dissolução do substrato rochoso. O grau de controle e a tropia são propriedades que fornecem informações referentes à orientação estrutural que controla a drenagem. A sinuosidade é regida pela geologia, quando o canal se acha em fase erosiva, ou pela dinâmica fluvial, quando o canal evolui para fase deposicional.

E a angularidade é uma variável fundamental na verificação de controle estrutural de drenagem (ANDRADES FILHO, 2010).

Através de observações realizadas na área representada, as bacias averiguadas na área da carta topográfica Rio Mamuaba apresentam grau de integração baixo, pela não padronização da forma e direção dos canais, uma exceção a essa regra é o rio Gramame que possui um grau de integração alto. Já o grau de continuidade das bacias pode ser considerado alto, tendo em vista que não há descontinuidades ao longo dos cursos d'água das bacias. Sua densidade hidrográfica é média principalmente nas bacias situadas ao sul da carta topográfica, a maior parte dos canais apresenta uma tropia multidirecional orientada.

O grau de controle está na interface forte-fraco, podendo ser considerado um grau mediano. A sinuosidade é mista, contendo partes curvas e outras retilíneas. As bacias portam angularidade média e forte assimetria, não havendo proporção em quantidade ou no tamanho dos canais.

10.3.1 Análise qualitativa da rede de drenagem

O padrão apresentado por uma rede de drenagem está intimamente ligado à evolução geológica pela qual determinado terreno passou ao longo do tempo. A bacia hidrográfica é um sistema inteiramente sensível às variações que advêm dos fenômenos climáticos, estruturais ou antrópicos, funcionando como uma testemunha dos processos geológicos ocorrentes na área sob a qual ela está assentada. Dessa forma, as bacias hidrográficas se comportam como ferramentas importantes para o estudo de indícios de neotectônica, já que quando o terreno sofre qualquer alteração o seu padrão é reajustado às novas condições impostas.

Na análise da carta hipsométrica, pode-se observar que o terreno apresenta considerável desnível dos patamares nos limites norte e sul da bacia, como dito anteriormente, o que acarretou um diferenciado nível de entalhamento e, conseqüentemente, comprimento dos canais fluviais, sendo os da porção sul mais conspícuos que os canais da porção norte. Essa discrepância consiste numa forte evidência de influência tectônica (Carta Hipsométrica, Anexo 1).

Na área compreendida pela carta Rio Mamuaba, o padrão de drenagem observado entre os rios Gramame e Mamuaba, evidencia, também, um forte controle estrutural. O Domo da Embratel vem provocando um acentuado processo de dissecação, com vales extremamente encaixados e intenso recuo nas cabeceiras de drenagem atestado pelas declividades superiores a 47% e talvegues de 83 m de desnível em relação aos topos dos tabuleiros. Como exemplos,

podem ser citadas as cabeceiras de drenagem dos rios Fundo, Jangada e do Buraco, afluentes da margem sul do rio Mamuaba.

Observando-se a bacia do rio Mamuaba, além do notável padrão de drenagem assimétrico com os afluentes da margem direita, muito mais avantajados que os afluentes da margem esquerda, e com suas cabeceiras apresentando forte entalhe indicativo de recuo acelerado, observa-se, também, em seus afluentes anomalias no padrão de drenagem sendo elas facilmente constatáveis como é o caso da inflexão no médio e baixo curso do rio Vermelho e do riacho Santa Cruz, e a retinidade apresentada pelos rios do Buraco e Fundo nos seus médios cursos.

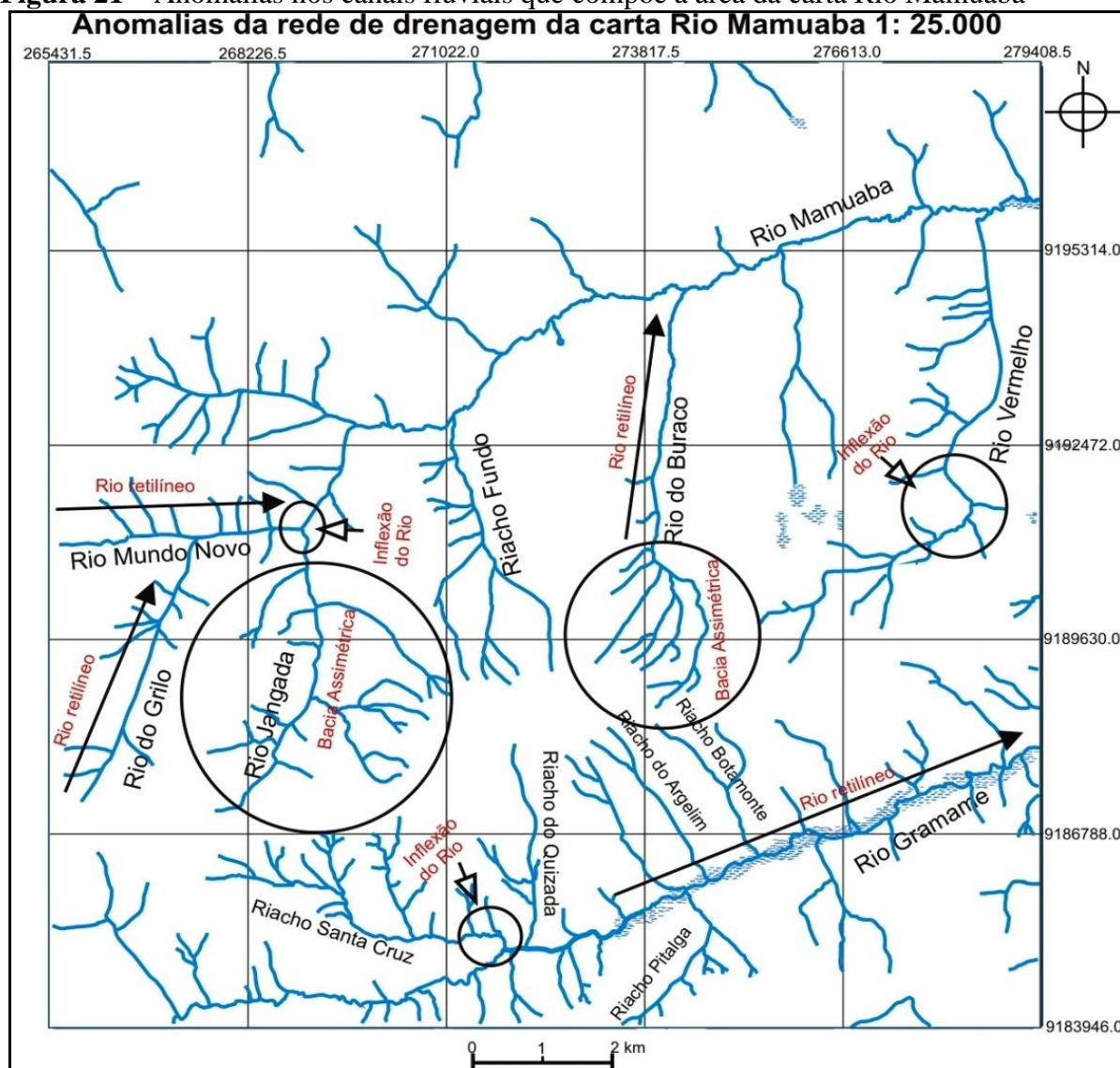
Outros aspectos em forma de anomalia de drenagem são os cursos retilíneos, apresentado principalmente pelos rios Mundo Novo e do Grilo, isso se coloca como uma anormalidade, pois em terrenos que apresentam uma conformidade litológica o padrão normalmente seria o dendrítico.

No rio Mundo Novo ocorre uma inflexão de quase 90°, formando um cotovelo no canal fluvial que provoca brusca mudança na direção do canal, que partiu da direção W – L para a direção SW - NE. No rio Jangada constata-se que o lado direito da bacia comporta canais bem mais expressivos que os do lado oposto, e com traços de drenagem treliça, que se considerado junto aos afluentes do rio Gramame, formam um padrão radial condicionado pelo Domo da Embratel (Figura 21).

Como pode ser observado na figura abaixo outra característica em condição de assimetria é, por exemplo, a disposição da drenagem no rio do Buraco, onde todos os canais de drenagem dessa bacia estão voltados para o Domo da Embratel, corroborando ainda mais a ideia de grande influência desse alto estrutural na disposição da drenagem local.

Segundo Penteado (1974), quando o falhamento é rápido e contínuo ao escoamento da drenagem, o rio poderá ter o seu curso desviado subitamente ou pode ser represado. Ao mesmo tempo em que as evidências tectônicas de soerguimento são bastante nítidas, percebe-se, também, pelos diferentes níveis de entalhamento e, principalmente, pelas várias drenagens assimétricas encontradas nesse compartimento, que esse soerguimento que causa essa diferença altimétrica entre os tabuleiros se fez de forma heterogênea, por blocos falhados e/ou por basculamentos distintos.

Figura 21 – Anomalias nos canais fluviais que compõe a área da carta Rio Mamuaba



Fonte: Elaboração própria (2014).

10.3.2 Aplicação do Índice Morfométrico Relação Declividade-Extensão (RDE)

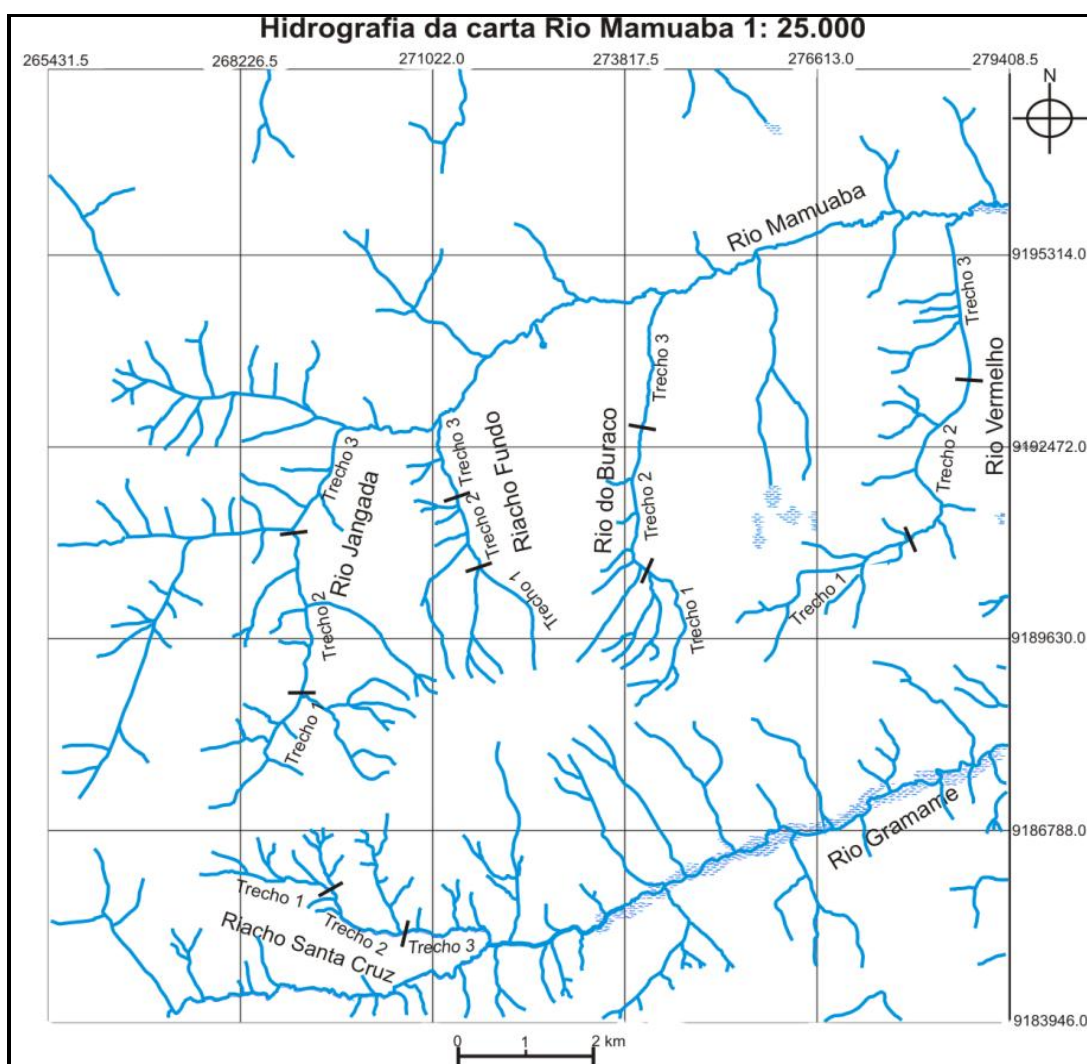
O cálculo morfométrico foi aplicado na área de estudo para a averiguação de possíveis indicativos de atividades de tectônicas recentes, para tanto, tomou-se como guia o cálculo do índice de RDE já utilizado em algumas pesquisas com o mesmo propósito, como é o caso de (BARBOSA et. al, 2011; ETCHEBEHERE et.al, 2006).

Esse cálculo pode ser aplicado de duas formas que são: o RDE (trecho) e o RDE (total). O RDE (trecho) é empregado para o cálculo de pequenas extensões nas quais o rio principal está sendo dividido em trechos de tamanhos semelhantes. O índice RDE (total) é aplicado para toda a extensão da bacia hidrográfica, da nascente até a foz do rio que se deseja averiguar. O valor do RDE (real) é aquele que será utilizado na análise final acerca de

influência tectônica, e é dado pela divisão do valor do RDE (trecho) pelo valor do RDE (total) do curso que está sendo estudado.

Esse cálculo foi aplicado para cinco rios afluentes das bacias principais que foram os rios Vermelho, do Buraco, Fundo, Jangada e Santa Cruz. As sub-bacias foram selecionadas para aplicação do cálculo morfométrico por apresentarem forte assimetria, bruscas inflexões e seus cursos principais serem subsequentes. Todas as bacias mencionadas encontram-se em sua totalidade dentro da área da carta topográfica Rio Mamuaba. Foram definidos três segmentos de drenagem em cada rio para que pudesse ser aplicado o RDE (trecho). Estes segmentos atingem a extensão total no rio Vermelho de 8685 m, no rio do Buraco, 6888 m, no rio Fundo 4309 m, no rio Jangada 6691 m e no rio Santa Cruz 5060 m de extensão total (Figura 22).

Figura 22 – Trechos de drenagem escolhidos para aplicação do índice de RDE



Fonte: Elaboração própria (2013).

O índice morfométrico RDE pode apontar sensíveis mudanças na declividade de um canal fluvial que pode estar associada a desembocaduras de tributários de caudal expressivo, a diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato lítico e/ou a atividades neotectônicas na área (BARBOSA et. al, 2011). Visto que as sub-bacias estudadas estão assentadas em sua maior parte sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras e não ocorrem desembocaduras de tributários de caudal expressivo, esse índice torna-se de grande valia para que possa ser alcançado o objetivo proposto na pesquisa.

A obtenção do índice RDE por trechos apontou que praticamente todos os segmentos, com exceção de apenas três dos trechos, sendo um deles o baixo curso do rio do Buraco e os outros dois, o médio e baixo curso do rio Fundo, apresentam indícios de anomalias de drenagem, estando eles posicionados tanto no alto, médio ou baixo curso dos rios verificados, sendo que os maiores valores encontrados em condição de anomalia estão no alto curso dos rios, o que nos mostra uma influência irrefutável do Domo da Embratel na configuração da drenagem da área.

Para avaliar os valores obtidos com o RDE, tomou-se como base o trabalho de Andrades Filho (2010), o qual destaca que os segmentos considerados anômalos são os que obtêm RDE real ($RDE \text{ trecho} / RDE \text{ total}$) maior ou igual a 2. Quanto maior o valor encontrado maior será a intensidade da anomalia. Também foi consultado o trabalho de Seeber e Gornitz (1983), onde eles subdividem os resultados anômalos de RDE em duas categorias: as anomalias de 2ª ordem, referentes aos índices compreendidos entre os limiares 2 a 10; e as anomalias de 1ª ordem, referentes aos valores iguais ou superiores a 10.

Os resultados dos cálculos de RDE (total) e RDE (trecho) dos cursos dos rios verificados indicam que os mesmos se encontram dentro do padrão anômalo, ou seja, maior que 2. Portanto, presume-se que os altos valores de RDE verificados no curso dos rios estejam ligados a atividades de tectônica recente no desenho da bacia e no padrão de drenagem apresentado pela mesma.

As Tabelas 2, 3, 4, 5 e 6 mostram um panorama das variáveis morfométricas encontradas no curso total e nos segmentos dos trechos dos rios em análise, assim como, os resultados de RDE trecho, total e real, este último corresponde à realização da divisão entre os valores do RDE trecho pelo RDE total.

O rio Vermelho, conforme os dados abaixo apresenta RDE total no valor de 11,25 que é extremamente alto, e é, portanto considerado por Seeber e Gornitz (1983) como uma anomalia de 1ª ordem de valor superior a 10. Em relação aos seus trechos, tem-se que os fragmentos 1 e 3 detém, assim como o curso total, altos valores de RDE, 5,85 e 3,20

respectivamente, e o trecho 2 correspondente ao médio curso do canal, apesar de possuir um valor bem mais baixo, ainda é considerado anômalo por ser >2 (Tabela 2). Esse rio dispõe de uma interessante assimetria possuindo uma grande retilinearidade no seu médio curso e uma forte inflexão no seu médio e baixo curso, onde a poucos metros da foz, sua direção muda bruscamente de S-N para W-L, o que fortalece as evidências de influência neotectônica em toda a área pesquisada.

Tabela 2 – Variáveis morfométricas do rio Vermelho

Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (m)	Extensão Total (m)	RDE trecho	RDE total	RDE Real
Rio Principal	126m	24m	102m	-	8685m	-	11,25	
Trecho 1	126m	50m	76m	3187m	-	65,84	11,25	5,85
Trecho 2	50m	34m	16m	3188m	-	26,04	11,25	2,31
Trecho 3	34m	24m	10m	2409m	-	36,05	11,25	3,20

Fonte: Elaboração própria (2013).

No rio do Buraco, o valor resultante do cálculo do RDE total foi 13,92, esse valor também é extremamente alto. Assim como no rio Vermelho esse rio também apresenta uma anomalia de 1ª ordem, com valor maior que 10. Em relação aos seus trechos, o que foi avaliado como mais irregular foi o trecho 1, com valor de RDE trecho de 5,45. O trecho 2 não apresentou valores tão altos, entretanto, não representou normalidade no padrão da drenagem do rio, pois constitui valor acima de 2 (2,09), portanto, anômalo. Nesse rio apenas o trecho 3 correspondente ao baixo curso, apresentou RDE dentro da normalidade (1,60) (Tabela 3).

Tabela 3 – Variáveis morfométricas do rio do Buraco

Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (m)	Extensão Total (m)	RDE trecho	RDE total	RDE Real
Rio Principal	170m	37m	123m	-	6888m	-	13,92	
Trecho 1	160m	60m	100m	2784m	-	75,89	13,92	5,45
Trecho 2	60m	43m	15m	2162m	-	29,16	13,92	2,09
Trecho 3	43m	37m	6m	1956m	-	21,12	13,92	1,60

Fonte: Elaboração própria (2013).

O rio Fundo é o rio de menor extensão em relação as outras bacias analisadas, porém, foi dele que derivou o mais alto valor de RDE total – 16,62, esse valor é surpreendente, pois mostra um enorme índice de anomalia nessa bacia. Este valor também é considerado como de

1ª ordem, possuindo valor bem acima de 10. Dos seus trechos, o fragmento que apontou maior anormalidade foi o trecho 1 com valor de 6,66. Os outros trechos não apresentaram anormalidades, possuindo valores menores que 2 (Tabela 4).

Tabela 4 – Variáveis morfométricas do rio Fundo

Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (m)	Extensão Total (m)	RDE trecho	RDE total	RDE Real
Rio Principal	186m	47m	139m	-	4309m	-	16,62	
Trecho 1	186m	64m	122m	1890m	-	110,76	16,62	6,66
Trecho 2	64m	54m	10m	1129m	-	24,24	16,62	1,45
Trecho 3	54m	47m	7m	1290m	-	21,17	16,62	1,27

Fonte: Elaboração própria (2013).

No caso do rio Jangada, o índice RDE apontou o valor de RDE total 9,43, considerado por Seeber e Gornitz (1983) como uma anomalia de 2ª ordem de valor inferior a 10. Em relação aos seus trechos, tem-se um fato curioso, pois os trechos 1, 2 e 3 apresentaram um valor muito semelhante entre si, apresentado índices entre 3,87 no trecho 3, e 4,48 no trecho 1 (Tabela 5).

Tabela 5 – Variáveis morfométricas do rio Jangada

Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (m)	Extensão Total (m)	RDE trecho	RDE total	RDE Real
Rio Principal	130m	47m	83m	-	6691m	-	9,43	
Trecho 1	130m	84m	46m	2315m	-	42,26	9,43	4,48
Trecho 2	84m	58m	26m	2608m	-	42,15	9,43	4,46
Trecho 3	58m	47m	11m	1768m	-	36,50	9,43	3,87

Fonte: Elaboração própria (2013).

O rio Santa Cruz é a única sub-bacia nesse estudo que é afluente do rio Gramame, também foi nela onde foi encontrado o menor valor de RDE total. O valor resultante do cálculo do RDE total nesse segmento de drenagem foi 8,21, e também é dado como uma anomalia de 2ª ordem, com valor inferior a 10. Em relação aos seus trechos, o que foi avaliado como mais irregular foi o trecho 1, com valor de RDE trecho de 5,84. Os trechos 2 e 3 não apresentam valores tão altos, entretanto, não representam normalidade no padrão da drenagem do rio, pois apresentaram valores de RDE trecho acima de 2 (3,03 e 2,35), portanto, anômalos (Tabela 6).

Tabela 6 – Variáveis morfométricas do rio Santa Cruz, afluente da bacia do rio Gramame.

Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão do Trecho (m)	Extensão Total (m)	RDE trecho	RDE total	RDE Real
Rio Principal	129m	59m	70m	-	5060m	-	8,21	
Trecho 1	129m	78m	51m	2048m	-	47,96	8,21	5,84
Trecho 2	78m	66m	12m	1461m	-	24,93	8,21	3,03
Trecho 3	66m	59m	7m	1552m	-	19,36	8,21	2,35

Fonte: Elaboração própria (2013).

Dentre os valores encontrados a partir do cálculo do RDE (total), o mais atípico é o do rio Fundo que se localiza no setor sul da bacia, onde se encontram também outros canais fluviais muito entalhados, formando vales extremamente encaixados com cotas altimétricas elevadas. A existência de vales amplamente entalhados nessa porção revela uma grande relação entre as características apresentadas por esta drenagem e o Domo da Embratel, tendo em vista que o soerguimento desse compartimento apresenta-se como um forte condicionante do padrão de drenagem, cujas cabeceiras dos canais se originam nesse alto estrutural.

Alguns estudos recentes sugerem que o Domo da Embratel é uma provável estrutura *push up* e sua origem pode estar relacionada com ativações tardias do *esplay out* do lineamento Congo-Coxixola, no entanto, suas causas necessitam de uma investigação mais apurada de subsuperfície (BRITO NEVES et al., 2009). Embora sua gênese ainda careça de maiores detalhes, sua influência no padrão da rede de drenagem local é indiscutível e, portanto, a evolução geomorfológica da área está extremamente relacionada ao mesmo.

A atuação de processos neotectônicos na área é fortalecida pelos valores encontrados através da aplicação desse índice morfométrico, já que a mesma está assentada em sua maior parte sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras e não ocorrem desembocaduras de tributários de caudal expressivo o que poderia influenciar nos valores elevados obtidos.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho utilizou-se de ferramentas de geoprocessamento para identificação, análise e interpretação morfométrica e morfológica da área da carta Rio Mamuaba. As informações obtidas nas análises morfométricas mostraram que as bacias apresentam um forte entalhamento nos seus cursos de drenagem, principalmente nos situados ao sul da carta, e acentuada assimetria no seu padrão de drenagem.

Esse estudo vem apoiar outros já existentes nas proximidades da área que por meio de cálculos morfométricos e análises morfológicas atestam que a configuração regional da rede de drenagem está fortemente atrelada ao fator tectônico, mesmo estando à retaguarda de uma margem continental do tipo passiva. Portanto, é de grande importância que os estudos de cunho tectônico nessas regiões litorâneas e em sua retaguarda não desprezem as bacias hidrográficas, visto que as redes de drenagem representam um dos mais importantes agentes de modelagem do relevo, concebendo, sob a ação da gravidade, a esculturação dos vales e a configuração do relevo local.

Fica evidente que os estudos de natureza tectônica que envolvam os Baixos Planaltos Costeiros esculpidos sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras não devem desprezar totalmente as bacias e redes de drenagem existentes, visto que as propriedades litológicas dessa formação impedem, por muitas vezes, que estruturas deformacionais expostas às fortes intempéries do litoral brasileiro sejam preservadas por tempos geológicos.

Por meio da combinação da análise morfológica e do cálculo morfométrico realizado (RDE), foi permitido verificar a possível presença de atividades tectônicas recentes atuantes sobre a área de estudo. Este índice morfométrico se demonstrou de grande valia para que fosse alcançado o objetivo proposto na pesquisa, mas ainda é pouco utilizado no Brasil. Faz-se então necessário que mais estudos levem em consideração esse tipo de análise em outras áreas da costa paraibana ou em qualquer outro lugar do Brasil para averiguação de possíveis atividades neotectônicas, haja vista, que o território brasileiro não é estável do ponto de vista tectônico e várias pesquisas de cunho geomorfológico publicadas em décadas passadas praticamente desprezaram esse assunto.

Para concluir, vale lembrar que esta análise não almeja, em hipótese alguma, encerrar a questão pertinente ao estudo da área em questão, mas, sim, propiciar um meio pelo qual novos trabalhos sejam desenvolvidos na intenção de apresentar informações que corroborem com os resultados aqui apresentados, permitindo, assim, o conhecimento pormenorizado da

região de maneira que os processos naturais e antrópicos possam ser conhecidos e planejados visando o bem comum.

REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. A Geomorfologia no Brasil. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, n. 2, p. 1-18, 1958.
- ALHEIROS, M. M.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA FILHO, M. F. Definição da Formação Beberibe na faixa Recife-João Pessoa. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1993, Natal. **Atas...** Natal: SBG, 1993. v. 13, p. 51-54.
- ALHEIROS M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.
- ALKMIM, F. F. O que faz um cráton um cráton? O cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo. In: BARTORELLI, A.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R.; MANTESSO NETO, V. **Geologia do Continente Sul-Americano**. São Paulo: editora Beca, 1ª ed. p.674. 2004.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e Recursos minerais associados. In: BARTORELLI, A.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R.; MANTESSO NETO, V. **Geologia do Continente Sul-Americano**. São Paulo: editora Beca, 1ª ed. p.674. 2004.
- ANDRADES FILHO, C. O. **Análise Morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD**. 2010. 150f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- ARAI, M. A grande elevação Eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP Série Científica**. São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1- 6, 2006.
- ARGENTO, M. S. F. Mapeamento geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 7ª ed. p. 365-39, 2007.
- BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. (2004). A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 89-198.
- BARBOSA, M. E. F. **Caracterização geomorfológica e tectônica da bacia hidrográfica do Rio Gurujá (PB) com apoio de índices morfométricos**. 2010. 103f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa: UFPB, 2010.
- BARBOSA, M. E. F.; VITAL, S. R. de O.; LIMA, J. C. F. de; FREITAS, G. M. A. de; SANTOS, M. da S.; FURRIER, M. Aplicação do índice Relação Declividade-Extensão na bacia hidrográfica do rio Gurujá para detecção de deformações neotectônicas sobre os sedimentos do Grupo Barreiras, litoral sul do estado da Paraíba, Brasil. **Geología Colombiana** - Vol. 36 No. 1 - Edición Especial - ISSN 0072-0992, 2011.

BARRELLA, W.; PETRERE-JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO; H. F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: USP, 2001.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra do Instituto de Geografia da USP**, São Paulo, n. 13, 1972.

BEZERRA, F. H. R. Deformação tectônica na Formação Barreiras: exemplos das bacias Potiguar e Paraíba, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13.; ENCONTRO DO QUATERNÁRIO SULAMERICANO, 3., 2011, Búzios-RJ. **Anais...** Búzios: Abequa, 2011.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 maio 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura. EPFS – Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba & interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972. (Boletim técnico n. 15).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. CPRM. **Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002. 142p.

BRITO NEVES, B. B.; ALBUQUERQUE J. P. T.; COUTINHO J. M. V.; BEZERRA, F. H.R. Novos Dados Geológicos e Geofísicos para a Caracterização Geométrica e Estratigráfica da Sub-bacia de Alhandra (Sudeste da Paraíba). **Geologia USP - Série Científica**, v. 9, p. 63-87, 2009.

CASSET, V. **Geomorfologia**. 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/index.php>. Acesso em: 16 de Dezembro de 2013.

CHRISTOFOLETTI, A. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 415-437.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia** – 2ª ed. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1980.

EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, J.; KELLER, E. A. 2008. Assessment of relative tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). **Geomorphology**, pp 150-173.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **III Plano Diretor da Embrapa Tabuleiros Costeiros 2004-2007**. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

EMBRAPA. **Plano Diretor do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (CPATC)**. Brasília: Embrapa, SPI, 1994.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

ETCHEBEHERE, M. L.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. 2000. Detection of neotectonic deformations along the Rio do Peixe Valley, western São Paulo state, Brazil, baseado on the distribuion of late quaternary allounits. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 6, n. 1, pp 109-114.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G. C.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. **Revista de Geociências USP**, v. 25, p. 271-289, 2006.

FEIJÓ, F. 1994. **Bacia de Pernambuco-Paraíba**. Rio de Janeiro, Geoci. PETROBRÁS, 8 (1): 143 – 147 – Jan/Mar.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FREITAS, G. M. A. **Caracterização geomorfológica e morfométrica da Folha Alhandra (1:25.000)**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – CCEN, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa: UFPB, 2012.

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da Folha João Pessoa 1:100.000**. 2007. 213f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. São Paulo: USP, 2007.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. F. Geomorfologia e tectônica da formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Geol. USP**, Sér. cient., São Paulo, v. 6, n. 2, out. 2006.

GOPINATH, T. R.; COSTA, C. R. S.; JÚNIOR, M. A. S. **Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba**. In: Simpósio De Geologia Do Nordeste. Natal. Atas... Natal: SBG/Núcleo Nordeste, 1993. v. 1, p. 47-48.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geol. **Survey, Jour. Research**, 1(4): 421-429. Washington, 1973.

HERZ, R.; DE BIASI, M. **Critérios e legendas para macrozoneamento costeiro**. Ministério da Marinha/Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Brasília: MM, 1989.

LIMA, C. C. U. O Neotectonismo na Costa do Sudeste e do Nordeste Brasileiro. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 15, p. 91-102, 2000.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Neotectônica, geomorfologia e sistemas fluviais: uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p.37-46, 2011.

MARINHO, E. G. A. **Bases geológicas das organizações espaciais no Município de João Pessoa (PB)**. 2011. 318f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2011.

MARQUES, J. S. Ciência geomorfológica. In: TEIXEIRA GUERRA, A. J.; CUNHA, S. B (Org.). **Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 23-50.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do rio Pirapó: o perfil longitudinal**. 2005. 96 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Departamento de Geografia do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Maringá: da Universidade Estadual de Maringá, 2005.

MELO, A. S. T. de. **Paraíba: desenvolvimento econômico e a questão ambiental**. João Pessoa: Editora Grafset, 2003.

MOREIRA, C. V. R. e NETO, A. G. P. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, A. M. dos S. e BRITO, S. N. A. **Geologia de Engenharia**. Ed. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia - ABGE. São Paulo, 69 - 85p. 1998.

MOREIRA, E.; TARGINO, I. **Capítulos de Geografia Agrária da Paraíba**. João Pessoa: UFPB, 1997.

NOGUEIRA F. C. C., BEZERRA F. H. R., CASTELO BRANCO R. M. Radar de Penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas Neógena na Bacia Potiguar - NE no Brasil. **Revista de Geologia**, v. 18, n. 2, p.139-149. 2006.

PARAÍBA. Governo do Estado. Secretaria da Educação. **Atlas geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: Grafset, 1985.

PENTEADO M. M. **Fundamentos de geomorfologia**. FIBGE, Rio de Janeiro, 186p. 1974.

PETRI, S.; FÚLFARO, J. V. **Geologia do Brasil**. São Paulo: T. A. Queiroz/EDUSPP. 631p. 1988.

POLZIN, M. A. Análise da aplicação do método de Hack no estudo geomorfológico em afluentes do curso superior da Bacia hidrográfica do Itapocu – SC - Brasil. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p 59 - 66, 2008.

PRESS,S.;SIEVER,R. In: **Para entender a terra**, 3ª Edição. Trechos; Figs.1.10 e 2.15. Artmed Editora. Porto Alegre. 2006.

RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R. P.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C.; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

ROACH, Bill. The rules of rivers. **ProFantasy's Map-making Journal**, out. 2012. Disponível em: <<http://www.profantasy.com/rpgmaps/?p=2017>>. Acesso em: 8 jan. 2014.

ROSSETT, D. F.; GÓES, A. M.; BEZERRA, F. H. R.; VALERIANO, M. M.; BRITONEVES, B. B.; OCHOA, F. L. Contribution to the stratigraphy of the onshore Paraíba Basin, Brazil. Acad. Bras. Ciênc. **Anais...**, v.84 n.2 Rio de Janeiro, Junho 2012.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

ROSS, J. L. S.; FIERZ, M. S. M. Algumas técnicas de pesquisa em geomorfologia. In: VENTURI, L. A. B. (Org.). **Praticando geografia**: técnicas de campo e laboratório. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1992.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia aplicada aos EIAs RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

SAADI, A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares Geonomos. **Rev. de Geociências da UFMG**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 1-15.

SEEBER, L.; GORNITZ, V. 1983. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 92: 335-367.

SOUZA, D. H. de.; HACKSPACHER, P.C.; TIRITAN, C. D.; RIBEIRO, L.F. B.; CAMPANI, M. M. Aplicação de análise morfométrica – Relação declividade VS. Extensão e perfil longitudinal das drenagens – na Bacia do Ribeirão das Antas para detecção de deformações neotectônicas no planalto de Poços de Caldas. **Revista de Geografia (Recife)**, Vol. 27, Nº 1.Esp (2010).

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. **Folha Rio Mamuaba SB. 25-Y-C-II-4-NE**. Recife: SUDENE, 1974. (1 Carta Topográfica, escala 1: 25.000).

SUGUIU, K. A Importância da Geomorfologia em Geociências e Áreas Afins. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 80-87, 2000.

SUGUIU, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**: (passado + presente = futuro?). São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.

TRICART, J. Paisagem e ecologia. **Inter-facies**, n. 76, São José do Rio Preto: Ibilce-Unesp, 1982.

VENTURI, L. A. B. O papel da técnica no processo de produção científica. In: _____. (Org.). **Praticando geografia: técnicas de campo e laboratório**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

VITTE, A. C. Da ciência da morfologia à geomorfologia geográfica: uma contribuição à história do pensamento geográfico. **Revista Mercator**, UFC, v. 07, nº 13, Fortaleza/CE, 2008.

VITTE, A. C. Os fundamentos metodológicos da geomorfologia e a sua influência no desenvolvimento das Ciências da Terra. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 280p.

ANEXOS

ANEXO 1: CARTA HIPSOMÉTRICA DA ÁREA DE ESTUDO

ANEXO 2: CARTA CLINOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO